



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

“Análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies
vegetales.”

AUTORA:

Rosa Birmania Solis Caicedo

TUTOR:

Ing. Agr. Mario Quispe Sandoval M. Sc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

“Análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies
vegetales.”

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN:

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MBA

PRESIDENTE

Ing. Agr. Rosa Guillen Mora, MIA

PRIMER VOCAL

Ing. Agr. Mg.Yary Ruiz Parrales, MAE.

SEGUNDO VOCAL

La responsabilidad por la investigación, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones presentadas y sustentadas en este componente práctico de examen de carácter Complexivo son de exclusividad de la autora.

Rosa Birmania Solis Caicedo.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia.

Quienes con esfuerzos y sacrificios hicieron posible que pueda llegar a cumplir esta meta, mi madre Carolina Caicedo y mi padre Miguel Solís, quienes han estado a mi lado todo el tiempo de estudio que duro mi carrera, siempre apoyándome con su amor y recordándome lo orgullosos que se sienten dándome las fuerzas necesarias para salir victoriosa en este corto y largo camino a la vez, el cual será quien me llevara al inicio de vida como profesional.

A mi hermana Nayely Solís quien fue una pieza fundamental estando siempre presente y acompañándome, en cada investigación, exposición, tareas y proyectos que tenía, dándome su opinión y consejos ante cualquier duda surgida en mí, lo que hacía que al mostrarme ese apoyo me motivaba a seguir y dar siempre lo mejor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por haberme ayudado a cumplir esta meta.

Esta tesina es el resultado de una vida como estudiante universitaria cuyo objetivo era llegar a obtener mi título de tercer nivel en la especialidad que siempre me gusto por eso decidí que sea la que me acompañe siempre en mi vida como profesional.

En este camino conocí a muchas personas de las cuales aprendí cosas muy buenas que me servirán a lo largo de mi profesión, no alcanzaría a escribir los nombres de todas ellas y no desearía omitir ninguno es por eso que mi agradecimiento será generalizado.

Agradezco a mis profesores quienes transmitieron sus conocimientos y consejos mediante sus clases, mis compañeros y amigos con los que compartí, anécdotas, emociones, experiencias e intercambiamos ideas y conocimientos durante este camino de aprendizaje. También no puedo dejar de agradecer y de mencionar por segunda ocasión a mi familia quienes son los que siempre me llenan de amor y fuerzas para seguir, razón por la cual ellos siempre han sido y serán mi inspiración de seguir dando lo mejor de mí en todo lo que hago.

Gracias infinitas.

RESUMEN

La producción de vegetales depende básicamente de las características genéticas, la interacción de estas con el entorno ambiental y con las prácticas agronómicas realizadas, la estrecha base genética de muchas de las especies cultivadas influye en el incremento de dicha variabilidad y por ende en la generación de nuevas alternativas de siembra. El desconocimiento y la falta de análisis de parámetros genéticos como la heterosis provocan no poder explotar las bondades que brinda una recombinación genética correcta. La agricultura es una industria necesaria y milenaria que experimentó en el siglo XX grandes cambios, uno de los cuales fue la introducción en el mercado de las semillas híbridas F1, que los agricultores compran cada año en lugar de usar las obtenidas en una de sus propias cosechas anteriores. Las semillas híbridas F1 comerciales rinden plantas que manifiestan vigor híbrido, un fenómeno de gran relevancia económica. La metodología que se utilizó para realizar este trabajo fue realizada en función de: la lectura, análisis, síntesis y la exploración de diversas fuentes bibliográficas tales como: libros, tesis de grado, revistas, artículos científicos y páginas web. La recopilación de información tiene como propósito el analizar e interpretar la importancia del análisis de la heterosis en especie vegetales, con miras de entender la recombinación genética en las diferentes generaciones de los procesos de obtención de nuevas variedades o híbridos vegetales, realizando el método tradicional de cruzamientos o hibridación. Por lo anteriormente detallado se determina que en un programa de mejoramiento genético vegetal es necesario utilizar progenitores o genotipos genéticamente contrastantes, los cuales pueden dar lugar a combinaciones híbridas con excelentes valores heteróticos. La heterosis puede definirse como el incremento en vigor, tamaño, productividad, velocidad del desarrollo, resistencia a enfermedades, insectos plagas, rigores climáticos de cualquier clase; manifestados por los organismos híbridos, con respecto a sus correspondientes progenitores endogámicos.

Palabras claves: heterosis, vigor, vegetales, genética, progenitores.

SUMMARY

Vegetable production basically depends on the genetic characteristics, the interaction of these with the environmental environment and with the agronomic practices carried out, the narrow genetic base of many of the cultivated species influences the increase of said variability and therefore the generation of new planting alternatives. Ignorance and lack of analysis of genetic parameters such as heterosis cause not being able to exploit the benefits provided by a correct genetic recombination. Agriculture is a necessary and millenary industry that underwent great changes in the 20th century, one of which was the introduction on the market of F1 hybrid seeds, which farmers buy every year instead of using those obtained in one of their own previous harvests. Commercial F1 hybrid seeds yield plants that show hybrid vigor, a phenomenon of great economic relevance. The methodology used to carry out this work was carried out based on: the reading, analysis, synthesis and exploration of various bibliographic sources such as: books, graduate theses, journals, scientific articles and web pages. The purpose of gathering information is to analyze and interpret the importance of the analysis of heterosis in plant species, with a view to understanding genetic recombination in the different generations of the processes of obtaining new varieties or plant hybrids, using the traditional method of crosses or hybridization. For the above detailed it is determined that in a plant genetic improvement program it is necessary to use genetically contrasting progenitors or genotypes, Heterosis can be defined as the increase in vigor, size, productivity, development speed, resistance to diseases, insect pests, climatic rigors of any kind; manifested by hybrid organisms, with respect to their corresponding endogamous progenitors.

Keywords: heterosis, vigor, plants, genetics, parents.

INDICE GENERAL

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	vi
SUMMARY.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
MARCO METODOLÓGICO.....	2
1.1. Definición del tema caso de estudio.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Fundamentación teórica.....	4
1.5.1. Definición de heterosis.....	4
1.5.2. Importancia de la heterosis.....	4
1.5.3. Características de la Heterosis.....	5
1.5.4. Investigaciones sobre heterosis en diferentes especies vegetales.....	6
1.5.5. Bases genéticas de la heterosis.....	7
1.5.6. Tipos de Heterosis y formas de estimarla.....	8
1.6. Hipótesis.....	11
1.7. Metodología de la investigación.....	11
CAPITULO II.....	12
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.1. Desarrollo del caso.....	12
2.2. Situaciones detectadas.....	12
2.3. Soluciones planteadas.....	16
2.4. Conclusiones.....	16
2.5. Recomendaciones.....	17
BIBLIOGRAFIA.....	18

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variacion con el tiempo del rendimiento del maíz en Estados Unidos3

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de % de tipos de heterosis en varias especies vegetales y diferentes características estudiadas	13
Cuadro 2. Niveles de heterosis en 10 caracteres agronómicos de zapallo (Moschata).....	14
Cuadro 3. Porcentaje de heterosis (%) en 20 poblaciones F1 de arroz tipo indica.	15

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético, como disciplina científica, se ha basado en la concurrencia de conocimientos de diferentes campos, ya sean leyes genéticas de herencia, genética cuantitativa, de poblaciones, molecular, de conservación, entre otros.

El análisis de la divergencia genética o heterosis se basa en un programa de mejoramiento, que permite establecer progenitores o genotipos contrastantes, los cuales pueden dar lugar a combinaciones híbridas, descendientes con alto vigor híbrido o individuos transgresivos que pueden originar híbridos o variedades comerciales. Los principios teóricos del análisis de divergencia genética tienen su importancia en la identificación de combinaciones híbridas, en las cuales se puede explotar la heterosis y discutir los fundamentos del vigor híbrido (Lagos et al. 2003)

Definió heterosis, como el incremento en vigor, tamaño, productividad, velocidad del desarrollo, resistencia a enfermedades, insectos plagas, rigores climáticos de cualquier clase; manifestados por los organismos híbridos, con respecto a sus correspondientes progenitores endogámicos; como consecuencia de la unión de gametos parentales diferentes. (Sanchez 2009)

Por otro lado, la heterosis puede ser tanto positiva como negativa dependiendo las características deseadas. Como por ejemplo si hablamos en el rendimiento de especies vegetales es favorable la heterosis positiva ya que este significa mayores cosechas.

Hay dos hipótesis generales para explicar la heterosis desde el punto de vista genético. La primera hipótesis es la de dominancia, en el principio explicada por; (Keeble 2009) quienes afirmaron que los genes que favorecen la heterosis son dominantes y los deletéreos son recesivos. Al cruzar poblaciones complementarias para los genes dominantes la F1 presentará más heterosis. A mayor número de alelos dominantes habrá mayor heterosis.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente tema del estudio de caso para titulación y previa obtención trata sobre el análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies vegetales.

1.2. Planteamiento del problema

La producción de vegetales depende básicamente de las características genéticas, la interacción de estas con el entorno ambiental y con las prácticas agronómicas realizadas, la estrecha base genética de muchas de las especies cultivadas influye en el incremento de dicha variabilidad y por ende en la generación de nuevas alternativas de siembra. El desconocimiento y la falta de análisis de parámetros genéticos como la heterosis provocan no poder explotar las bondades que brinda una recombinación genética correcta.

La producción principalmente de híbridos vegetales está basada en el efecto genético de la heterosis, el mismo que se logra al realizar cruzamientos entre progenitores genéticamente contrastantes, de la misma manera una F1 con valores deseables de heterosis proporcionará una excelente segregación en la F2 que permitirá ir seleccionando genotipos deseables en el proceso de obtención de variedades.

Con la ayuda de fórmulas que involucran la F1 y el promedio de los progenitores podemos calcular la heterosis para posteriormente realizar el respectivo análisis dependiendo de la característica agronómica que es estudiada.

1.3. Justificación

La agricultura es una industria necesaria y milenaria que experimentó en el siglo XX grandes cambios, uno de los cuales fue la introducción en el mercado de las semillas híbridas F1, que los agricultores compran cada año en lugar de usar las

obtenidas en una de sus propias cosechas anteriores. Las semillas híbridas F1 comerciales rinden plantas que manifiestan vigor híbrido, un fenómeno de gran relevancia económica cuya base molecular aún no se comprende bien.

El maíz es uno de los mejores ejemplos del éxito de la mejora genética. Domesticado hace unos 9.000 años en México, es la planta con mayor rendimiento de grano por hectárea, ha superado en producción a otros cereales como el trigo y el arroz, se cultiva en latitudes y alturas sobre el nivel del mar muy dispares y genera más de mil productos distintos para alimentación humana o animal, además de bebidas alcohólicas y biocombustibles. El cultivo del maíz se basó exclusivamente en la polinización abierta hasta el siglo XX. Durante el siglo XIX se obtuvieron mediante selección masal centenares de nuevas variedades, mejorándose rasgos como la tolerancia a algunas plagas y enfermedades, el tamaño del grano y el número de sus filas en la mazorca. Sin embargo, el rendimiento del maíz estadounidense apenas varió desde 1866 hasta 1940 (*Figura 1*). (José Luis Micol 2020)

Figura 1. Variación con el tiempo del rendimiento del maíz en Estado Unidos

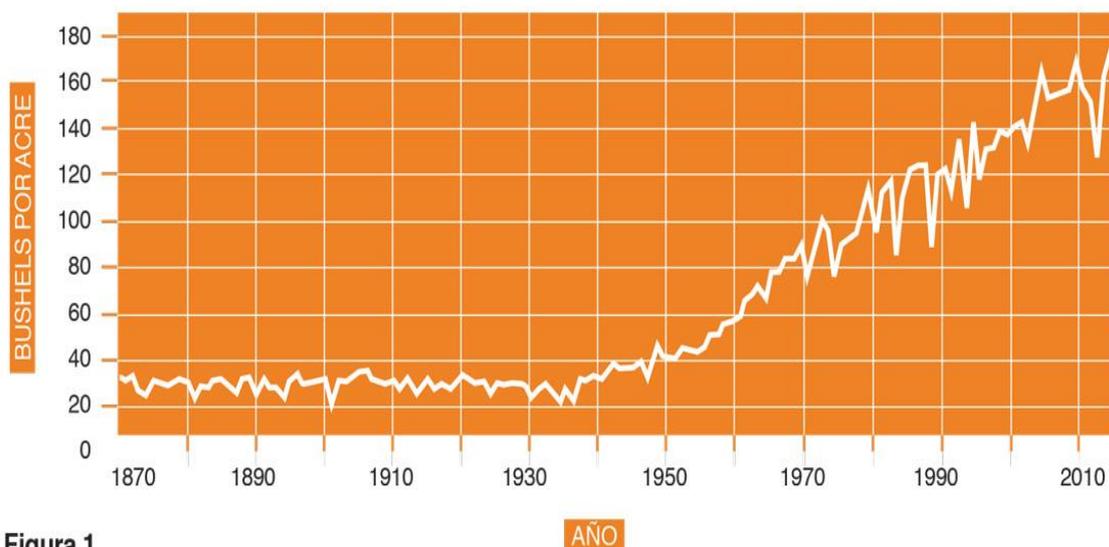


Figura 1

Variación con el tiempo del rendimiento del maíz cultivado en Estados Unidos. Las unidades de medida son el bushel ($\approx 35,2$ litros de grano) y el acre ($\approx 4.046,8 \text{ m}^2$). Datos obtenidos de *Crop Production Historical Track Records, April 2015. National Agricultural Statistics Service. United States Department of Agriculture.*

Figura 1. Variación con el tiempo del rendimiento del maíz en Estados Unidos

1.4. Objetivos

General:

Analizar e interpretar la importancia del fenómeno de la heterosis en especies vegetales.

Específicos:

- Interpretar las maneras de cálculo del vigor híbrido o heterosis en especies vegetales.
- Conocer qué características agronómicas de progenies F1 deben presentar valores positivos o negativos de heterosis.
- Evidenciar genotipos de especies vegetales seleccionados por presentar valores deseables de heterosis.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Definición de heterosis.

Shull 1917, citado por (Lagos et al) denominó a este fenómeno como "heterosis" como la superioridad del híbrido sobre las poblaciones parentales (efecto estimulante sobre la fisiología de las plantas).

La heterosis es el comportamiento superior de los individuos híbridos en comparación con los padres. Manifestación del vigor en la F1 para uno o varios caracteres superando a la media de los progenitores. La heterosis depende de la distribución de las frecuencias alélicas en un población o individuo.

1.5.2. Importancia de la heterosis.

La heterosis o vigor híbrido es un fenómeno de naturaleza genética que se caracteriza por un incremento de la biomasa aprovechable de un híbrido, en

relación con los progenitores que le dieron origen. Esta característica genética ha sido utilizada por muchos mejoradores de tomate para incrementar el rendimiento comercial del cultivo. El establecimiento de un diseño de cruces que permita evaluar el comportamiento per se de líneas de tomate para los componentes del rendimiento, como el de los posibles cruzamientos entre ellas, podría considerarse como un paso importante para un programa inicial de mejora genética. (Moreira et al. 2003)

La heterosis da como resultado la superioridad fenotípica de un híbrido sobre sus padres con respecto a rasgos como la tasa de crecimiento, el éxito reproductivo y el rendimiento. Este vigor híbrido está determinado por mecanismos no excluyentes entre sí, que incluyen la complementación de dominancia, la sobredominancia y la epistasis. Los genes heteróticos responsables de elevar los rendimientos de los cultivos ahora se buscan mediante la genómica, en particular la transcriptómica, pero con resultados contradictorios. Dado que la heterosis es un fenotipo cuantitativo modificado ambientalmente, los análisis genómicos por sí solos no serán suficientes. (Lippman; Zachary-B 2006)

La heterosis describe el rendimiento superior de plantas híbridas heterocigotas sobre sus líneas endogámicas parentales homocigotas. A pesar del redescubrimiento de este fenómeno hace un siglo y de su importancia agronómica suprema, la base genética y molecular de la heterosis sigue siendo enigmática. Recientemente, varios estudios pioneros describieron diferencias en la organización del genoma y la expresión génica de híbridos y sus líneas endogámicas parentales. (Hochholdinge; Frank 2007)

1.5.3. Características de la Heterosis

- ✓ Esencialmente es un fenómeno fenotípico.
- ✓ Operacionalmente se detecta en el comportamiento exhibido por las progenies o familias.
- ✓ Más frecuente e intenso en alógamas que en autógamias: 10% en trigo, 200% en maíz. (Endocria 1964)

1.5.4. Investigaciones sobre heterosis en diferentes especies vegetales.

Koelreuter (1776) con *Nicotiana*, trabajo pionero en hibridación. Un híbrido entre dos variedades de tabaco crecía más que sus progenitores.

Darwin (1862) con varias especies incluyendo el maíz.

Beal (1880) reportó vigor híbrido en cruces entre poblaciones de maíz de distintos orígenes. (Endocria 1964)

Heterosis en híbridos de maíz: Casi absolutamente todo el maíz cosechado en Argentina y mucho del mundial es "maíz híbrido". Esos híbridos superan sustancialmente a los cultivares naturales y responden mejor al riego, a la fertilización, etc.

La heterosis en maíz fue demostrada a principios del siglo XX por George H. Shull y Edward M. East, quienes descubrieron que el cruce de líneas homocigotas hechas de un "dentado sureño" y un "flint norteño" respectivamente, daban fuerte heterosis e incremento de rendimiento ante los cultivares convencionales de esa era.

La heterosis es una razón importante para la industria del maíz comercial. Con los años, la mayoría de la comunidad científica ha atribuido heterosis a la dominancia o sobre dominancia, y recientemente los científicos han reportado que la epítasis y la interacción de genes son los principales contribuyentes. En los últimos años se han propuesto dos importantes explicaciones de heterosis, estos incluyen la acción de genes sobre dominantes y acción génica de dominancia. Estas hipótesis fueron propuestas por primera vez en la primera parte del siglo 20. El rendimiento de un híbrido está en función de los genes que recibe de sus dos padres, pero su fenotipo puede ser juzgado por su rendimiento en términos de la cantidad de heterosis expresada. Muchos mejoradores creen que la magnitud de la heterosis está directamente relacionada con el grado de diversidad genética entre los dos padres. En otras palabras, se supone que cuanto más diferentes sean los padres genéticamente mayores será la heterosis. (Quiroga Cardona 2014)

En el mejoramiento genético de arveja se ha considerado el inicio de la floración

como un indicador importante, de naturaleza cuantitativa, puesto que muestra una variación continua bajo condiciones de campo. Se considera que la naturaleza de la acción genética que determina el rendimiento del grano tiene penetración incompleta y diferencias en su expresividad, dependiendo del ambiente. La habilidad de los parentales para combinar bien depende de varias combinaciones genéticas complejas que no pueden ser juzgadas completamente por el desempeño fenotípico y las cualidades adaptativas. La habilidad combinatoria indica el comportamiento genético del material parental, por ello es recomendable seleccionar los padres para hibridación sobre la base de su habilidad combinatoria. (Natalia Espinosa; Gustavo Adolfo Ligarreto 2005).

La producción de arroz ha visto un enorme aumento en China debido a usos de arroz híbrido. En China, los esfuerzos han generado una cepa super arroz híbrido (LYP9) con una capacidad de producción de 15 toneladas por hectárea. También en la India, arias variedades han demostrado alto vigor incluyendo RH-10 y Suruchi 5410.

1.5.5. Bases genéticas de la heterosis.

La heterosis ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento de muchos cultivos para la identificación de poblaciones genéticamente divergentes como base para el desarrollo de líneas endogámicas para ser usadas en cruzamientos F1. No existe una teoría concluyente sobre la heterosis como agente causal del vigor híbrido. Para explicar el fenómeno de heterosis se han formulado varias hipótesis y posiciones al respecto, a saber.

- **Hipótesis de dominancia:** La hipótesis dominante atribuye la superioridad de los híbridos a la supresión de alelos recesivos indeseables de uno de los padres por los alelos dominantes de la otra. Se atribuye los malos resultados de las cepas puras a la pérdida de la diversidad genética, con las cepas convertirse puramente homocigotos en muchos loci. La hipótesis de dominancia se expresó por primera vez en 1908 por el genetista Charles Davenport. Bajo la hipótesis de dominancia, se espera que los alelos deletéreos para ser mantenido en una población aleatoria de apareamiento en un equilibrio de selección-mutación que

dependería de la tasa de mutación, el efecto de los alelos y el grado en que los alelos se expresan en los heterocigotos.

- **Hipótesis de sobredominancia:** La hipótesis sobredominancia atribuye la ventaja heterocigota para la supervivencia de muchos alelos recesivos que son perjudiciales y en los homocigotos. Se atribuye los malos resultados de las cepas puras con un alto porcentaje de estos genes recesivos perjudiciales. La hipótesis sobredominancia fue desarrollado independientemente por Edward M. Oriente (1908) y George Shull (1908). Se espera que la variación genética en un locus overdominant a ser mantenida por la selección de equilibrio. El alto de la aptitud de los genotipos heterocigóticos favorece la persistencia de un polimorfismo alélico en la población.

1) teoría epistática

2) teoría de la acción conjunta de la dominancia y sobredominancia.

A las anteriores teorías se ha sumado también la metilación del ADN.

1.5.6. Tipos de Heterosis y formas de estimarla.

El comportamiento de un híbrido respecto a sus parentales, puede ser expresado de tres formas, dependiendo del genotipo utilizado como referencia. Existen muchas formas de heterosis, sin embargo, acorde con Fehr (1987) y Virmani *et al.*, (2003), la heterosis puede ser media parental (HMP), heterobeltiosis (H) y heterosis relativa o estándar (HR).

La heterosis puede ser media parental (HMP): es el incremento o el decremento en el comportamiento de un híbrido comparado con el valor promedio de sus parentales.

La heterobeltiosis (H): es el incremento o decremento en el comportamiento de un híbrido en comparación con el mejor progenitor de la combinación híbrida. La heterosis relativa o estándar (HR): es el incremento o decremento en el comportamiento de un híbrido comparado con un testigo comercial o variedad estándar de la región.

Desde el punto de vista práctico, la heterosis relativa o estándar es de mayor

importancia, debido a que el mejoramiento apunta a desarrollar híbridos que sean mejores que las variedades de alto rendimiento cultivadas comercialmente por los agricultores.

Estimación de la heterosis: La medida de la heterosis es muy simple. Generalmente se expresa como el porcentaje del incremento o decremento en el comportamiento de un híbrido en comparación con un genotipo referencia o un parámetro.

A continuación, se presentan las formas para calcular los tres tipos de heterosis: dependiendo del criterio usado para comparar el comportamiento de un híbrido:

a) Heterosis puede ser media parental (HMP):

$$\text{HMP} = \frac{\text{F1} - \text{P}}{\text{P}} \times 100$$

b) Heterobeltiosis (H):

$$\text{H} = \frac{\text{F1} - \text{MP}}{\text{MP}} \times 100$$

c) Heterosis relativa o estándar (HR):

$$\text{HR} = \frac{\text{F1} - \text{T}}{\text{T}} \times 100$$

Donde:

F1: Valor de la primera generación o híbrido.

P: Valor promedio de sus parentales.

MP: Valor del mejor progenitor.

T: valor de la variedad comercial de la región o testigo.

En términos productivos son más importantes la heterosis media parental (HMP) y la heterosis relativa o estándar (HR), pues la primera es una medida de la ventaja que representa la utilización de un híbrido respecto de sus progenitores, y la segunda mide el comportamiento superior del híbrido respecto de la variedad

testigo. La Heterobeltiosis (H) se emplea para conocer los efectos genéticos involucrados en la determinación de un carácter. Cuando su valor es diferente de cero, indica la existencia de efectos no aditivos.

Existen diversas teorías para explicar la heterosis. Al principio el debate se centró en dos teorías: la primera atribuye la heterosis a efectos de sobredominancia, y la segunda, a efectos de dominancia. Según la hipótesis de la sobredominancia, el heterocigoto es superior a cualquiera de los dos homocigotos, por lo que el vigor híbrido aumenta en proporción directa a la cantidad de heterocigosis. En la hipótesis de la dominancia se establece que el grado de heterosis depende del número de loci en condición dominante. En ambos casos, es condición necesaria que los progenitores involucrados sean genéticamente contrastantes y complementarios. (Lira 2019)

El tener conocimiento de la diversidad genética, heterosis y habilidad combinatoria general y específica del germoplasma de un programa de mejoramiento es esencial para diversos objetivos como:

- 1) desarrollar híbridos y o variedades,
- 2) Crear variabilidad genética
- 3) Evitar vulnerabilidad genética
- 4) Implementar programas de selección recurrente.

Una forma de estimar estos parámetros genéticos es por medio de los diseños dialélicos como los propuestos por Griffin (1956) o por el diseño de Gardner y Eberharth (1966), por otro lado, existen varias formas de medir la diversidad genética. (Rincon 2000)

La heterosis es la manifestación del vigor híbrido en la progenie en relación con la manifestación de los caracteres de sus progenitores, se puede presentar entre cruza de líneas puras, cruza intervarietales o cruza interespecíficas, además señalan que la heterosis es negativa cuando el vigor híbrido o la expresión de los caracteres son menores que la de los progenitores, en cambio la heterosis es positiva cuando la expresión de los caracteres es mayor que la de sus progenitores. La heterosis, es la diferencia de la generación F1 y el promedio de sus progenitores,

mientras que la heterobeltiosis es la diferencia de la generación F1 y el promedio del mejor progenitor, ambos parámetros expresados en porcentaje. (Rojas 2014)

El vigor híbrido es un fenómeno que se produce al cruzar dos progenitores con cierto grado de divergencia genética, siendo raras las especies que no manifiestan dicho fenómeno. El vigor híbrido es el aumento de vigor, crecimiento, tamaño, rendimiento o actividad funcional de una progenie híbrida sobre sus progenitores, que resulta al cruzar organismos distintos genéticamente; esta condición o fenómeno genético se ha aprovechado por los fitogenetistas para obtener híbridos con altos rendimientos, tanto en grano como forraje, frutos no secos y raíces. Se ha demostrado que el vigor híbrido es tanto mayor cuanto menos emparentados están los progenitores implicados en la cruce; esto quiere decir que a mayor divergencia genética se espera un vigor híbrido superior. (VEGA 2000)

La hibridación como método de mejoramiento genético puede ser útil en la obtención de genotipos de alto rendimiento y calidad de fruto, aprovechando la capacidad combinatoria y heterosis. La explotación de la heterosis se ha reconocido como una herramienta práctica que provee a los mejoradores de un medio para incrementar el rendimiento u otros caracteres económicos importantes. (LUNA GARCIA 2018)

1.6. Hipótesis

Ho = No existen protocolos de análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies vegetales.

Ha = Existen protocolos de análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies vegetales

1.7. Metodología de la investigación

La metodología que se utilizó para realizar este trabajo fue realizada en función de: la lectura, análisis, síntesis y la exploración de diversas fuentes bibliográficas tales como: libros, tesis de grado, revistas, artículos científicos y páginas web.

La recopilación de información tiene como propósito el analizar e interpretar la importancia del análisis de la heterosis en especie vegetales, con miras de entender la recombinación genética en las diferentes generaciones de los procesos de obtención de nuevas variedades o híbridos vegetales, realizando el método tradicional de cruzamientos o hibridación.

CAPITULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso

La finalidad de la presente investigación fue recolectar información sobre la importancia del análisis e interpretación del fenómeno heterosis en vegetales.

En cuanto al producción nacional e internacional es necesario realizar mejoramiento genético de las especies vegetales entre progenitores que difieran genéticamente, para promover a la heterosis y lograr obtener mejores combinaciones genéticas con características deseables.

Muchos países productores de vegetales se preocupan de realizar mejora genética necesarias en sus cultivos, para incorporar características genotípicas y así lograr la obtención de vegetales que sean resistentes a los daños que causan las plagas y enfermedades; para evitar el volcamiento de plantas, tolerancia al estrés por déficit ambientales.

2.2. Situaciones detectadas

En el aprovechamiento de la heterosis como herramienta en el mejoramiento genético de los vegetales se pueden obtener valores tanto positivos como negativos, esto va a depender de la característica que se evalué, lo ideal sería obtener valores positivos para características como rendimiento, componentes de

rendimiento (número de macollos, longitud de espiga, número de granos por espiga, longitud de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca, peso de granos, etc.) y valores negativos para características como precocidad, reacciones de tolerancia a factores bióticos y abióticos de los vegetales.

Para obtener buenos resultados en cuanto a las características agronómicas es necesario realizar evaluaciones de la heterosis en las plantas F1 que se obtienen por cruzamientos entre progenitores genéticamente diferentes.

Cuadro 1. Resultados de % de tipos de heterosis en varias especies vegetales y diferentes características estudiadas

Especies	Carácter	Heterosis (%)	Fuente
Physalis ixocarpa	Rendimiento del fruto	138,7 ^{HB}	Sahagún et al, 1999
Solanum melongena	Altura de la planta	26,4 ^H	Saha et al, 1991
	Ramas por planta	48,5 ^H	
Solanum melongena	Rendimiento del fruto	41,2 a 13,3 ^{HMP}	Sousa y Malut, 1998
	Peso del fruto	-11,5 a 26,17 ^{HMP}	
	Precocidad	+29 a +141,8 ^{HMP}	
	Rendimiento del fruto producción total de fruto y peso de fruto	13,9 a 92,5 ^H	
Solanum tuberosum	Numero de tubérculos	H y HMP positiva y significativa	González et al, 1996
Capsicum annum	Rendimiento de fruto Peso del fruto	-15,5 a 37,1 ^H	Lagos, 1998
		-19,8 a 28,5 ^{HB}	
		-39,9 a 7 ^H -57,6 a 4,55 ^{HB}	
Nicotina tabacum	Días de floración	-2,60 ^{HMP}	Legg, 1970
Zea mays	Rendimiento del grano	6,10 a 66,6 ^{HMP}	Melchinger, et al 1998
	Rendimiento del grano	-6,7 a 16,7 ^{HMP}	Romero, et al 2002
	Rendimiento del grano	8.0 a 92 ^{HMP}	Parentoni, et al 2001

Cuadro 2. Niveles de heterosis en 10 caracteres agronómicos de zapallo (*Moschata*).

No	Características (a)	Dialélico	Heterosis (%)	Tipo (b)	Autores
1	Longitud guía	8 X 8	17.8	MP	Mohanty y Mishra, 1999
2	Ramas 1a./planta.	8 X 8	18.1	MP	Mohanty y Mishra, 1999
3	Floración masculina	8 X 8	-32.1	MP	Mohanty y Prusti, 2002
		8 X 8	-20, - 30	MP-PP	Mohanty, 2001
4	Floración femenina	8 X 8	-36.2	MP	Mohanty y Prusti, 2002
		8 X 8	-24, -52	MP-PP	Mohanty, 2001
5	Flores femeninas/planta.	8 X 8	70	MP	Mohanty y Mishra, 1999
		6 x 6	65	PP	Berenji, 1986
		8 X 8	76.9	MP	Mohanty y Prusti, 2002
6	Frutos/planta.	8 X 8	150	MP	Mohanty y Mishra, 1999
		9 x 9	80	TC	Sirohi, 1993
		6 x 6	86	PP	Berenji, 1986
		CLV (16)	70	PP	Galka, 1987
		8 X 8	142.9	MP	Mohanty y Prusti, 2002
		8 X 8	-53-19	MP-TC	Sirohi et al., 2002
7	Peso/fruto	8 X 8	181.5	MP	Mohanty y Mishra, 1999
		9 x 9	125	TC	Sirohi, 1993
		6 x 6	96	PP	Berenji, 1986
		CLV (16)	87	PP	Galka, 1987
		8 X 8	96.3	MP	Mohanty y Prusti, 2002
		8 X 8	-48-7	MP-TC	Sirohi et al., 2002
8	Rendimiento/planta.	8 X 8	68.7	MP	Mohanty y Mishra, 1999
		9 x 9	50	TC	Sirohi, 1993
		6 x 6	46	PP	Berenji, 1986
		CLV (16)	65	PP	Galka, 1987
		8 X 8	188.7	MP	Mohanty y Prusti, 2002
		8 X 8	41-31	MP-TC	Sirohi et al., 2002
9	Grosor pulpa	8 X 8	48.4	MP	Mohanty y Mishra, 1999
		9 x 9	47	TC	Sirohi, 1993
		6 x 6	60	PP	Berenji, 1986
		8 X 8	16-22	MP-TC	Sirohi et al., 2002
10	Solidos solubles totales	9 x 9	95	TC	Sirohi, 1993
		6 x 6	80	PP	Berenji, 1986
		8 x 8	-25	PP	Doijode, 1983

(Toro 2009)

Cuadro 3. Porcentaje de heterosis (%) en 20 poblaciones F1 de arroz tipo indica.

N°	Progenitores	vigor Vegetativo	Floración (Días)	ciclo vegetativo/días	Long. Hoja bandera/cm	Ancho. Hoja bandera/cm	Altura 60 (Días)	N° Macollos/ Planta	N° Panícula /planta	Long. Panícula/ Planta	N° Grano/planta	Esterilidad (%)	Desgrane (%)	Peso (g)/1000 granos.	Rendimiento Grano/Planta (g)	Long. Grano(mm)	Ancho de Grano(mm)	Forma de Grano	N° de variante sobresaliente
1	Br-101/FE-103	-39.13	-10.84	-3.06	-0.59	-4.99	5.87	-33.24	13.23	-3.98	1.49	-35.65	-4.05	0.90	17.53	7.00	2.36	4.20	5
2	Br-101/BA-100	-6.67	-3.66	-3.65	4.00	0.29	1.40	20.00	23.78	-4.07	-8.87	61.05	44.56	-1.89	15.51	0.64	0.76	-0.56	3
3	Br-101/SH-108	-12.50	-6.99	-3.33	2.39	-3.12	0.41	10.22	14.75	0.73	13.66	-58.54	-41.18	2.53	14.09	1.99	-0.51	2.51	5
4	Br-101/G-111	-6.67	-0.96	-5.58	0.11	0.88	6.96	2.95	5.75	0.87	-0.03	-30.00	8.50	2.25	-2.12	3.39	0.25	3.26	1
5	Br-101/CA-102	38.46	-5.86	-5.58	-1.30	7.92	2.05	16.15	17.44	1.48	-10.24	8.02	13.92	2.91	19.51	1.88	-6.57	9.25	4
6	Br-101/Fl-106	0.00	-6.04	-5.58	18.63	5.01	7.69	17.71	24.72	13.88	20.49	-6.72	-35.91	5.40	56.69	3.61	1.02	3.69	9
7	Br-101/Fl-105	-20.00	-8.36	-5.58	7.21	0.89	5.09	6.93	9.47	4.43	4.09	33.54	-11.11	-2.50	-1.05	6.00	-0.76	6.61	3
8	Br-101/FL-109	9.09	-9.43	-5.21	22.29	3.24	6.47	16.92	22.77	-3.23	7.85	-26.48	-22.82	-1.91	24.71	1.72	2.00	-0.71	7
9	Br-101/G-112	23.08	-12.91	-6.07	7.08	-2.04	5.72	13.48	20.74	8.95	6.51	62.98	-6.96	-3.68	36.99	1.08	-0.51	1.56	5
10	Br-101/G-113	-7.69	-6.56	-5.70	0.80	-6.0	4.07	13.58	13.54	2.42	4.67	-29.68	7.09	-4.93	-13.23	1.36	4.81	5.62	1
11	FE-103/Br-101	50.00	-7.48	2.19	-12.99	6.71	4.12	13.54	13.27	2.57	12.83	-21.92	-43.27	0.81	21.61	5.39	2.89	2.14	4
12	BA-100/Br-101	-7.79	-2.28	-3.35	10.11	28.07	5.18	-7.51	-7.11	-1.61	1.05	-50.71	-1.18	1.42	9.22	1.71	-0.76	1.68	2
13	SH-108/Br-101	-14.29	-7.28	-3.19	6.66	-1.79	5.70	8.77	8.71	6.01	14.16	-49.45	-50.05	0.06	11.64	1.65	-1.25	3.00	5
14	G-111/Br-101	7.69	-9.21	-5.45	2.76	0.28	6.06	13.61	13.88	9.56	31.24	6.38	-48.55	0.47	38.90	8.51	-2.00	10.66	8
15	CA-102/Br-101	0.00	-6.38	-5.37	-4.14	12.02	5.48	-10.31	-3.12	-10.57	-5.14	-59.28	-24.28	5.53	9.45	0.86	-0.76	1.69	4
16	Fl-106/Br-101	16.67	-5.58	-5.68	3.48	4.82	7.87	13.88	15.04	4.17	6.35	-13.12	-50.30	3.12	35.23	3.88	10.43	-5.19	4
17	Fl-105/Br-101	38.46	-9.11	-5.37	1.03	11.04	4.07	24.40	22.93	4.41	-2.76	-47.39	9.21	4.59	23.25	4.30	0.51	3.28	8
18	FL-109/Br-101	-14.29	-10.07	-3.51	-9.45	-1.80	2.97	0.65	8.90	-6.57	3.47	12.78	-16.67	-0.99	3.60	7.65	-1.00	9.04	5
19	G-112/Br-101	0.00	-10.56	-3.36	-3.21	-1.99	16.75	6.82	10.30	6.70	-15.16	12.81	-1.57	-0.62	38.35	1.37	0.25	1.27	3
20	G-113/Br-101	-5.26	-6.42	-3.66	-10.61	-2.70	6.47	16.52	14.12	4.77	18.04	-21.50	-10.53	-3.04	53.28	6.67	-3.18	10.04	5

2.3. Soluciones planteadas

Para el mejoramiento de los vegetales tomando en consideración la heterosis, es necesario tener en cuenta el momento de escoger los padres que intervienen en el cruzamiento y que sean de constitución genética diferente para obtener cruces con características tanto genotípica y fenotípicamente, ya que los híbridos F1 van a mostrar superioridad ante sus padres.

Para realizar evaluaciones de la heterosis es necesario el uso de la fórmula adecuada dependiendo del tipo de heterosis que se quiera evaluar, así como también la respectiva interpretación de sus valores, ya que se pueden obtener valores positivos o negativos dependiendo de las características agronómicas que se evalué.

2.4. Conclusiones

Esta investigación de carácter literario en la que se ha tratado de explicar el análisis e interpretación de la importancia de la heterosis en especies vegetales y en función a los objetivos propuestos, nos permite concluir que:

- En un programa de mejoramiento genético vegetal es necesario utilizar progenitores o genotipos genéticamente contrastantes, los cuales pueden dar lugar a combinaciones híbridas con excelentes valores heteróticos.
- La heterosis puede definirse como el incremento en vigor, tamaño, productividad, velocidad del desarrollo, resistencia a enfermedades, insectos plagas, rigores climáticos de cualquier clase; manifestados por los organismos híbridos, con respecto a sus correspondientes progenitores endogámicos.
- El comportamiento de la primera generación F1 con respecto a sus progenitores puede ser expresado de tres maneras dependiendo del del genotipo utilizado como referencia: heterosis media parental (HMP), heterobeltiosis (H) y heterosis relativa o estándar (HR).

- Los valores calculados de heterosis puede ser tanto positivos como negativos dependiendo las características que se evalúe, como por ejemplo en la característica rendimiento de grano interesa que los valores de heterosis de la F1 sean positivos, lo que significa mayor producción de la primera generación en comparación con sus progenitores.
- De acuerdo con las investigaciones realizadas, existen resultados valiosos de heterosis obtenidos en diferentes especies vegetales, así como también en diferentes características agronómicas estudiadas.

2.5. Recomendaciones

Considerando los resultados y discusión de la presente investigación se puede realizar las recomendaciones siguientes:

- En programas de mejoramiento genético vegetal es necesario involucrar en programas de cruzamientos a progenitores genéticamente contrastantes.
- Es necesario evaluar las combinaciones híbridas F1, y calcular parámetros genéticos como heterosis media, heterobeltiosis y heterosis relativa en características agronómicas de importancia económica.
- Realizar selecciones de las mejores progenies F1 con los mejores valores de heterosis en características de importancia económica.
- En base a las progenies seleccionadas, implícitamente poner énfasis a aquellos progenitores que producen buenas recombinaciones genéticas.

BIBLIOGRAFIA

Endocría, A-. 1964. Endocría y heterosis (en línea). 3. Consultado 2 sep. 2020. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~mejogeve/Heterosis.pdf>.

_____. 1964. Endocría y heterosis (en línea). 3. Consultado 8 sep. 2020. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~mejogeve/Heterosis.pdf>.

Hochholdinge; Frank. 2007. Hacia la base molecular de la heterosis (en línea). 12(9). Disponible en <https://www.onlinedoctranslator.com/gettranslateddocument/heterosis3.en.es.pdf>.

José Luis Micol. 2020. La heterosis, esa importante desconocida | Revista de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular | SEEBM (en línea, sitio web). Consultado 26 ago. 2020. Disponible en <https://www.sebbm.es/revista/articulo.php?id=271&url=la-heterosis-esa-importante-desconocida>.

Keeble, B y. 2009. Heterosis Y Habilidad Combinatoria Entre Poblaciones Seleccionadas De (Cucúrbita moschata DUCH. EX POIR). (en línea). Colombia, s.e. 19 p. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/12814/1/7275005.2009.pdf>.

Lagos, TC; Criollo, H; Checa, O. 2003. divergencia genetica y heterosis (en línea). 2003-01-01 :1. Disponible en <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/667>.

Lippman; Zachary-B. 2006. Heterosis: revisando la magia (en línea). 23(2). Disponible en <https://www.onlinedoctranslator.com/gettranslateddocument/heterosismagic.en.es.pdf>.

Lira, NM. 2019. ENDOGAMIA Y HETEROSIS EN CUATRO POBLACIONES DE

TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot . ex Horm .) (en línea).
Tesis-Doctorado-Chapingo :88. DOI:
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21944.29447>.

Luna Garcia, LR. 2018. Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto. *Informacion Tecnica Economica Agraria* 114(2). DOI: <https://doi.org/10.12706/itea.2018.008>.

Moreira, M; Echandi, C; Méndez, C. (2003). HETEROSIS Y HABILIDAD COMBINATORIA EN LÍNEAS DE TOMATE PARA MESA (*Lycopersicon esculentum* Mill) CON ADAPTACIÓN A ALTAS TEMPERATURAS (en línea). 33. s.l., s.e. Consultado 17 ago. 2020. Disponible en https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15382/16166.

Natalia Espinosa; Gustavo Adolfo Ligarreto. 2005. Evaluating combinatory ability and heterosis of seven parental *Pisum sativum* L. pea lines (en línea, sitio web). Consultado 19 ago. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652005000200002.

Quiroga Cardona, J. 2014. Cruzamientos dialelicos e identificacion de habilidad combinatoria general y especifica de lineas endogamicas de maiz (en línea). s.l., s.e. 81 p. Consultado 27 ago. 2020. Disponible en http://bdigital.unal.edu.co/47644/1/86013530_Julio.pdf.

Rincon, A de la RH de LGMF. 2000. View of Heterosis, GCA, SCA and gentic diversity of 13 hybrids of maize (*Zea mays* L.). (en línea, sitio web). Consultado 28 ago. 2020. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/17360/16837>.

Rojas, GJA. 2014. ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE *Capsicum annum* BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO (en línea). Consultado 28 ago. 2020. Disponible en

[http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43307/Alejandro Rojas Gibran Jaciel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43307/Alejandro%20Rojas%20Gibran%20Jaciel.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Sanchez, ST. 2009. Heterosis y habilidad combinatoria entre poblaciones seleccionadas (Cucúrbita moschata DUCH. EX POIR). (en línea). 7275005 ed. Colombia, s.e. 19 p. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/12814/1/7275005.2009.pdf>.

Toro, S. 2009. HETEROSIS Y HABILIDAD COMBINATORIA ENTRE POBLACIONES SELECCIONADAS DE (Cucúrbita moschata DUCH. EX POIR) (en línea). s.l., s.e. 105 p. Consultado 31 ago. 2020. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21819/7275005.2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Vega, RG. (2000). COMPARACION DE CRITERIOS PARA MEDIR EL VIGOR HIBRIDO EN RELACION A LA PRESELECCION DE HIBRIDOS EXPERIMENTALES DE SORGO PARA GRANO (Sorghum bicolor (L.) Moench). (en línea). s.l., s.e. Consultado 28 ago. 2020. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/6344/1/1080095027.PDF>.