

# GENÉTICA BÁSICA DE LAS CAPAS DE LOS CABALLOS -QUARTER, PAINT y APPALOOSA-



[www.lacodina.com](http://www.lacodina.com)

## Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.	COLORES Y ESTAMPADOS DE LA CAPA DE LOS CABALLOS .....	6
1.1.	COLORES DE CAPA DE LOS CABALLOS .....	6
1.1.1.	BLACK, NEGRO, NEGRE .....	6
1.1.2.	BROWN, BOCIFUEGO, BRU .....	6
1.1.3.	BAY, CASTAÑO, CASTANY .....	7
1.1.4.	CHESNUT, ALAZÁN, ALATZÀ.....	7
1.1.5.	SORREL, ALATZÀ, ALAZÁN.....	8
1.1.6.	BUCKSKIN, BUCKSKIN, FALB.....	8
1.1.7.	PALOMINO, PALOMINO, FALB CREM.....	8
1.1.8.	PERLINO, PERLINO, PERLÍ .....	9
1.1.9.	CREMELLO, CREMELLO, CREM.....	9
1.1.10.	DUN, DUN, DUN .....	10
1.1.11.	RED DUN, RED DUN, BAIG .....	10
1.1.12.	GRULLO, RATONERO, PÈL DE RATA .....	11
1.1.13.	GRAY, TORDO, GRIS.....	11
1.1.14.	BLUE ROAN, ROANO-NEGRO, RUÀ-NEGRE .....	12
1.1.15.	BAY ROAN, ROANO-CASTAÑO, RUÀ-CASTANY .....	12
1.1.16.	RED ROAN, ROANO-ALAZÁN, RUÀ-ROIG .....	13
1.2.	RESUMEN DE LAS CAPAS DE LOS CABALLOS DE LAS RAZAS QUARTER, PAINT Y APPALOOSA.....	14
1.3.	ESTAMPADOS DE CAPA DE LOS CABALLOS.....	17
1.3.1.	ESTAMPADO DE LOS CABALLOS PAINT.....	17
1.3.2.	ESTAMPADO DE LOS CABALLOS APPALOOSA .....	24
1.	INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA.....	30

1.1.	¿QUE ES LA GENÉTICA APLICADA A LOS CABALLOS?	30
1.2.	CONCEPTOS BÁSICOS	30
1.2.1.	LOS GENES COMO BASE DE LA HERENCIA	30
1.2.2.	LOS ALELOS	31
1.2.3.	LOS CROMOSOMAS	32
1.2.4.	INTRODUCCIÓN A LAS LEYES DE MENDEL	33
2.	GENÉTICA DE LOS COLORES DE LAS CAPAS: EXTENSIÓN / AGOUTI	43
2.1.	EL GEN EXTENSIÓN (FACTOR ROJO)	43
2.2.	EL GEN AGOUTI (DISTRIBUCIÓN DE LA COLORACIÓN NEGRA)	44
3.	GENÉTICA DE LOS COLORES DE LAS CAPAS: MODIFICADORES DE COLOR	45
3.1.	GENES DE DILUCIÓN	45
3.1.1.	CHAMPAGNE	45
3.1.2.	CREMA	46
3.1.3.	DUN	47
3.1.4.	PERLA	47
3.1.5.	DILUCIÓN PLATEADA	48
3.2.	GENES QUE AFECTAN LA APARIENCIA DE COLOR	49
3.2.1.	GRIS	49
3.2.2.	RUANOS	49
4.	GENES QUE AFECTAN AL ESTAMPADO DE LOS CABALLOS PAINT	51
4.1.	TOBIANO	51
4.2.	OVERO	51
4.2.1.	FRAME OVERO	52
4.2.2.	SPLASHED WHITE OVERO	53
4.2.3.	SABINO OVERO	53
4.3.	TOVERO	53

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo sobre “Genética básica de los colores de capa de los caballos”, pretendo realizar un estudio de los genes que afectan a la coloración. Me referiré, también –aunque en menor medida- a los genes que afectan al estampado en el caso de los caballos Paint. No trataré en este artículo la genética relacionada con el estampado de los caballos Appaloosa dada su gran dificultad. Pretendo, en otro trabajo, hacer un estudio más minucioso centrado en la genética básica del estampado de los caballos Paint y Appaloosa.

En el apartado 1.1. “Colores de Capa de los Caballos”, me referiré a los colores aceptados por las asociaciones de cría de los caballos Quarter (AQHA), Paint (APHA) y Appaloosa (ApHC). Los colores admitidos por las tres asociaciones son prácticamente los mismos.

Aprovecho esta introducción para hacer una observación importante relativa a la coloración. Normalmente nos referimos a coloración cuando el pelaje del caballo es de un color determinado, sin mezcla de pelos blancos entre los pelos de color. Si bien, cabe que el ejemplar tenga manchas blancas –normalmente en cara y extremidades o las marcas características de los caballos Paint y Appaloosa-. En ocasiones, nos encontramos con ejemplares cuya capa tiene una mezcla homogénea de pelos blancos y de color, que le dan una **apariencia de coloración** más clara. Esto se observa en los caballos grises y ruanos. En los caballos grises, por ejemplo, no es que el pelaje sea gris, sino que tiene la apariencia de gris por la mezcla de pelos de color (a veces, negro) y pelos blancos.

En el apartado 1.2. “Estampados de capa de los caballos”, me referiré a la estampación que se observa en los caballos Paint y Appaloosa. Se conoce a un caballo Quarter –además de por características morfológicas y de carácter- por su capa sólida, con posibles marcas blancas en la cara o en la zona inferior de las extremidades. El caballo Paint se caracteriza por sus manchas blancas de distinto tamaño y distribución junto a manchas de color. No obstante, es posible que un Paint sea de capa sólida, supuesto en que es muy difícil distinguirlo de un caballo Quarter. El caballo Appaloosa se distingue por sus manchas, normalmente de pequeño tamaño, y por características, únicas de la raza, que se pueden observar en distintas partes de su cuerpo, como por ejemplo, en boca, ojos y pezuñas. También es posible que un caballo Appaloosa sea de capa sólida, supuesto en que es difícil distinguirlo de un caballo Quarter.

Las asociaciones de cría de estas tres razas tienen normas muy estrictas para la admisión de ejemplares en sus registros. Un caballo Appaloosa sin sus características distintivas no podría ser inscrito en el registro normal de la ApHC –se tendría que inscribir en el registro de caballos no característicos- y, tampoco en el registro de la AQHA. Un caballo Paint de capa sólida sí podría ser inscrito en la APHA, aunque no en la AQHA, puesto que ésta sólo admite en su registro caballos 100% Quarter. Cuando cruzamos un caballo Quarter con uno Paint, el producto será siempre un caballo Paint, con sus manchas características o de capa sólida. Cuando cruzamos un caballo Appaloosa con un caballo Quarter, el producto será siempre un caballo Appaloosa, con sus características propias o sin ellas –supuesto en que no se podría inscribir de forma normal-. No se admite en ninguno de estos tres registros el cruce entre un caballo Paint y un caballo Appaloosa.

De todo lo anterior, se extrae de modo claro que solo los caballos Paint y Appaloosa pueden tener estampado. Por ello, en el apartado dedicado al estampado dedicaremos un punto al propio de los caballos Paint y, otro, al propio de los caballos Appaloosa.

A partir del punto 2. “Genética de los colores de las capas: Extensión y Agouti” nos referiremos a las cuestiones genéticas, objeto del trabajo. Tras explicar los genes Extensión y Agouti, distinguiré dos apartados:

- Modificadores de color:
  - o Genes de dilución:
  - o Genes que afectan a la apariencia de color
- Genes que afectan al estampado de los caballos

## 1. COLORES Y ESTAMPADOS DE LA CAPA DE LOS CABALLOS

### 1.1. COLORES DE CAPA DE LOS CABALLOS

#### 1.1.1. BLACK, NEGRO, NEGRE



Entire coat, including muzzle, flanks and legs are black. Color may fade when exposed to the sun. Could have rusty tinges during certain times of the year. Early foals may be an overall mousy gray, then shed to black

Capa entera, incluyendo el hocico, flancos y patas son de color negro. El color puede desaparecer cuando se exponen al sol, podría tener toques de color más claros durante ciertas épocas del año; los potros tempranos pueden ser un de un color gris rata, y luego sacar el negro

Capa sencera, incloent-hi el musell, flancs i potes són de color negre, el color pot desaparèixer quan s'exposen al sol, podria tenir color més clar durant certès èpoques de l'any; els poltres que neixen massa aviat poden ser d'un color gris rata, i després treure el negre

#### 1.1.2. BROWN, BOCIFUEGO, BRU



Body color brown or black, with light areas at muzzle, eyes, flank and inside upper legs. Mane and tail usually black

Cuerpo de color marrón o negro, con zonas más claras en el hocico, los ojos, las patas y la parte superior del flanco interior; crin y cola generalmente negro

Capa de color marró o negra, amb zones més clares en el morro, els ulls, les potes i la part superior del flanc interior; crinera i cua generalment negre

### 1.1.3. BAY, CASTAÑO, CASTANY



Body color reddish brown, with variations ranging from dark blood bay to light bay and usually distinguished by black in mane, tail, ear tips and lower legs.

Capa de color marrón rojizo, con variaciones que van desde marrón rojizo oscuro a marrón claro y se distinguen por la crin, la cola, las puntas de las orejas y las patas negras.

Capa de color marró vermellós, amb variacions que van des de el marró vermellós fosc fins al marró vermellós clar i es distingeixen per la crinera, la cua, les puntes de les orelles i les potes negres.

### 1.1.4. CHESNUT, ALAZÁN, ALATZÀ



Body color dark or brownish red. Range from very light to liver chesnut. Liver chesnut can be distinguished from black or brown only by the bronze or copper high-lights on the legs. Mane and tail are usually dark red or brownish red, but may be flaxen.

Cuerpo de color oscuro o rojizo-marrón; puede variar desde muy claro hasta castaño hígado. La capa castaña-hígado sólo puede ser distinguida de color negro o marrón por toques de color bronce o cobre en las patas. La crin y la cola suele ser roja-oscuro o de color rojizo-marrón, aunque en ocasiones puede ser rubias.

Cos de color fosc o vermell-marró. Pot variar des de molt clar a castany-fetge. La capa castany-fetge només es pot distingir del color negre o marró per tocs de color bronze o coure a les potes. La crinera i la cua solen ser vermelles-fosques o de color vermellós-marró, encara que també poden ser rosses.

### 1.1.5. SORREL, ALATZÀ, ALAZÁN



Body color reddish or copper-red. Mane and tail usually the same color as body, but may be flaxen or very dark brown.

Cuerpo de color rojizo o rojo-cobre. Crin y cola del mismo color que el cuerpo, pero pueden ser rubias o muy oscuras

Cos de color vermellós o vermell-coure. La crinera i la cua solen ser el mateix color que el cos, però poden ser rosses o molt fosques

### 1.1.6. BUCKSKIN, BUCKSKIN, FALB



Body color yellowish or gold with black mane and tail. Black on lower legs. Lacks primitive markings

Capa de color amarillo o oro, la crin y la cola negras, negro en las patas, carece de marcas primitivas.

Cos de color groc o or; la crin i la cua negres, negre a les potes, no té marques primitives

### 1.1.7. PALOMINO, PALOMINO, FALB CREM



Diluted body color varying from rich gold to pale yellow. Mane and tail generally pale or off-white but may be the same color as body (with nonblack points)

Color diluido de la capa que va desde color oro hasta amarillo pálido. La crin y la cola son generalmente pálidas o blanco grisáceo aunque pueden ser del mismo color que el cuerpo (sin zonas negras)

Color de la capa que va des de color or fins a color groc pàlid. La crinera i la cua son generalment de color pàlid o blanc grisós, encara que poden ser del mateix color que el cos (sense zones negres)

### 1.1.8. PERLINO, PERLINO, PERLÍ



Double dilute bay/brown resulting in body color of cream or off-white. Lower legs, mane and tail rust or chocolate shade. Skin is pinkish or grey. Eyes are blue or amber. The coat has enough yellow hue to allow White markings to be visible.

Doble dilució Castanya / Marrón, que resulta en el color del cuerpo crema blanquecino; inferior de las patas, crines y cola más oscuro, la piel es color rosado o gris, los ojos son de color azul o ámbar. La capa es suficientemente amarilla para permitir que las marcas blancas sean visibles.

Doble dilució castanya / marró, que resulta en un color de capa crema blanquinosa; la sonda inferior de les potes, crinera i cua Rust més fosques. La pell és color rosat o gris, els ulls són de color blau o ambre. La capa de color crema és suficientment fosca com per permetre que les marques blanques siguin visibles.

### 1.1.9. CREMELLO, CREMELLO, CREM



Double dilute of chestnut/sorrel resulting in body color, mane and tail of cream or off-white with pale, pinkish skin. The coat has enough yellow hue to allow white markings to be visible. Eyes are blue or amber

Doble dilució de castanyo / alazán que resulta en que el color de la capa, crines y cola sea de color crema o blanquecino. La piel es pàlida y rosada. La capa tiene suficiente amarillo como para permitir que las marcas blancas sean visibles. Los ojos son de color azul o ámbar.

Doble dilució de castany / alatzà que resulta en que el color del cos, les crineres i la cua siguin de color crema o blanquinós. La pell és pàlida o rosada. La capa té suficient groc com per permetre que les marques blanques siguin visibles. Els ulls son de color blau o ambre.

### 1.1.10. DUN, DUN, DUN



Diluted body color of yellowish or gold. Mane and tail are black or brown. It has black or brown primitive markings.

Capa de color diluido amarillento o oro. Crin y cola de color negro o pardo. Marcas primitivas negras o marrón.

Cos de color diluït groguenc o or. Crinera i cua de color negre o marró. Marques primitives negres o marrons.

### 1.1.11. RED DUN, RED DUN, BAIG



A form of dun with body color yellowish or flesh-colored. Mane and tail are red or reddish. It has red or reddish primitive markings.

Un tipo de dilución dun con cuerpo de color amarillento o de color carne. La crin y la cola son de color rojo o rojizo, Tiene marcas primitivas de color rojo o rojizo.

Una tipologia de dilució dun amb cos de color groguenc o de color carn. La crinera i la cua són de color vermell o vermellós. Té marques primitives de color vermell o vermellós.

### 1.1.12. GRULLO, RATONERO, PÈL DE RATA



A form of dun with body color smocky or mouse-colored (not a mixture of black and white hairs, but each hair mouse-colored). Black mane and tail. Has primitive markings.

Una forma de dilució dun con color de capa cenizo o de color ratón (no hay una mezcla de pelos de color blanco y negro, sino que cada pelo es de color ratón). La crin y la cola negras y tienen marcas primitivas.

Una tipologia de dilució dun amb capa de color cendra o ratolí (no una barreja de pèls blancs i negres, sinó que cada pèl és de color ratolí). La crinera i la cua son negres, té marques primitives

### 1.1.13. GRAY, TORDO, GRIS



Dominant over all other color genes. Born any color with white hair progressively turning the coat whiter as the horse ages. Dark skin. Normally grays show white hair first around eyes and behind ears.

Dominante sobre todos los genes de otro color. El potro nace de cualquier color y el pelo blanco va apareciendo a medida que el caballo se hace mayor; piel oscura; normalmente los pelos blancos aparecen primero alrededor de los ojos y detrás de las orejas.

Dominant sobre tots els gens d'un altre color. El poltre neix de qualsevol color i el pèl blanc apareix a mida que el cavall envellaix. Pell fosca. Normalment, els pèls blancs apareixen primer al voltant dels ulls i darrere de les orelles.

#### 1.1.14. BLUE ROAN, ROANO-NEGRO, RUÀ-NEGRE



Overall intermingling of white hairs with black body color. Head, lower legs, mane and tail are usually solid or darker. Does not get progressively whiter with age

Capa de color negro con mezcla en todo el cuerpo de pelos de color blanco. Cabeza, patas, crin y cola son generalmente sólidos o más oscuros. Con la edad no se vuelve más blanco.

Capa de color negre amb barreja en tot el cos de pels de color blanc. El cap, les potes, la crinera i la cua son generalment sólids o més foscos. Amb l'edat no es tornen més blancs.

#### 1.1.15. BAY ROAN, ROANO-CASTAÑO, RUÀ-CASTANY



The overall intermingling of white hairs with bay body color. Head, lower legs, mane and tail are usually solid or darker. Does not get progressively whiter with age

Capa de color castaño con mezcla en todo el cuerpo de pelos de color blanco. Cabeza, patas, crin y cola son generalmente sólidos o más oscuros. Con la edad no se vuelve más blanco.

Capa de color castany amb barreja en tot el cos de pels de color blanc. El cap, les potes, la crinera i la cua son generalment sólids o més foscos. Amb l'edat no es torna més blanc.

### 1.1.16. RED ROAN, ROANO-ALAZÁN, RUÀ-ROIG



The overall intermingling of white hairs with chesnut/sorrel body color. Head, lower legs, mane and tail are usually sorrel or dark-red. It does not get progressively whiter with age

Mezcla generalizada de pelos blancos con alazanes. La cabeza, las patas, la crin y la cola son generalmente de color alazán o de color rojo oscuro. Con la edad, el caballo no se vuelve más blanco.

Barreja generalitzada de pèls blancs amb alatzans. El cap, les potes, la crinera i la cua són generalment de color alatzà o de color vermell fosc. No es torna més blanc amb l'edat.

## 1.2. RESUMEN DE LAS CAPAS DE LOS CABALLOS DE LAS RAZAS QUARTER, PAINT Y APPALOOSA



Capas de los caballos Quarter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Imagen de [www.cavallspintats.com](http://www.cavallspintats.com)



Bay



Black



Blue Roan



Brown



Buckskin



Chestnut



Dun



Gray



Grullo



Palomino



Red Dun



Red Roan



Sorrel

*Capas de los caballos Paint<sup>1</sup>*

www.lacodina.com



Bay



Black



Blue Roan 1



Blue Roan 2



Buckskin



Chestnut



Dun



Gray



Grulla



Palomino



Bay Roan



Red Roan



Dark Bay or Brown 1



Dark Bay or Brown 2

*Capas de los caballos Appaloosa<sup>1</sup>*

www.lacodina.com

## 1.3. ESTAMPADOS DE CAPA DE LOS CABALLOS

### 1.3.1. ESTAMPADO DE LOS CABALLOS PAINT

Los caballos paint son únicos de debido a sus patrones moteados de pelaje. Sus capas base son de los mismos colores que las de otras razas, pero superpuesto a estos colores hay una variedad de patrones de manchas blancas. Los tres patrones que son reconocidos por la APHA son tobiano, overo y tovero.

La capacidad de reconocer estos patrones y entender la genética detrás de ellos es esencial para los criadores de caballos paint para aumentar la proporción de caballos manchados entre sus potros.

A continuación se describen los principales estampados de los caballos paint.

#### 1.3.1.1. *TOBIANO*

El patrón tobiano es el más común dentro de los caballos paint. El patrón tobiano se puede encontrar en muchas razas de caballos en todo el mundo.

##### **Las características del patrón Tobiano:**

Las patas de un caballo tobiano son generalmente blancas en porciones variables. Por lo general, la cabeza no tiene más blanco del que normalmente se encuentra en cualquier caballo sin manchas. Las manchas blancas suelen cruzar la línea dorsal en algún lugar entre las orejas y la cola.

Las marcas de los caballos tobiano suelen estar bien delineadas. Además, tienen una disposición vertical. Los ojos de un tobiano son generalmente oscuros.

Otro detalle del patrón tobiano es el hecho de que en muchos de estos caballos, la frontera entre el blanco y las áreas de color se compone de zonas de color de piel pigmentada

recubiertas por pelos blancos. El resultado es generalmente un tono azulado en la frontera, casi como una sombra.

Otra peculiaridad de algunos tobianos es la presencia de manchas de color entre las zonas blancas. Estas manchas son pequeñas y generalmente de forma redonda.



### 1.3.1.2. **OVERO**

El segundo tipo de estampado más conocido es el overo. El overo abarca tres patrones genéticamente diferentes: Frame-overo, Sabino y Splashed White.



#### 1.3.1.2.1. Frame overo

El nombre de frame-overo (Overo enmarcado) se refiere a la apariencia típica, que es de manchas blancas centradas en el cuerpo y el cuello, y enmarcadas por áreas de color alrededor de ellas.

El patrón de frame-overo habitual es de carácter horizontal y no cruza la línea dorsal, a diferencia del tobiano. La cabeza del overo suele tener bastantes manchas blancas y los ojos suelen ser azules.

Las patas de los frame-overo son generalmente oscuras, aunque pueden tener coloración blanca igual que la que tienen los caballos sin manchas.

Las áreas blancas de los frame-overo suelen estar diferenciadas claramente de las áreas de color, aunque algunos pueden tener piel pigmentada con el pelo blanco en la zona de frontera entre las marcas.



*Caballo Paint Frame-Overo*

**Síndrome del Blanco Letal:** Está confirmado que los potros con dos dosis (Homocigoto Frame-Overo) están afectados por el síndrome del blanco Letal, y mueren poco después de su nacimiento. Solo pueden sobrevivir los caballos con una dosis de este gen. Esta documentación es importante para los criadores de caballos Paint. Con pruebas de ADN se puede identificar el gen blanco letal, y así ver si los caballos de cría son portadores de este gen.

#### 1.3.1.2.2. Sabino Overo

Los Paints Sabino suelen tener cuatro patas blancas. El blanco por lo general se extiende desde las patas en forma de pequeñas manchas y luego se extiende hacia el cuerpo del caballo desde la barriga. La cabeza del caballo suele tener una gran cantidad de blanco y los ojos suelen ser azules.

Muchos Paints Sabinos tienen los ojos parcialmente azules y parcialmente marrones. Es común encontrar zonas ruanas y manchas.



*Caballo Paint Sabino Overo*

#### 1.3.1.2.3. Splashed White Overo

El patrón Splashed White es el menos común de los patrones de estampado en los caballos paint, aunque está aumentando en número a medida que los criadores usan más caballos Splashed-White en sus programas de cría.

El patrón general, hace que el caballo parezca que ha sido hundido en pintura blanca. Las patas son generalmente blancas, como son las porciones de la parte inferior del cuerpo. La cabeza también es generalmente blanca y los ojos son frecuentemente azules.

Se ha observado que muchos Splashed White Paints son sordos. Esto no es un gran problema si el entrenador se da cuenta de las limitaciones del caballo en cuestión y modifica el programa de entrenamiento para atender las necesidades especiales de los caballos. Muchos de estos caballos pueden llevar una vida normal y productiva.

Debido a que nunca se han documentado Splashed White Paints homocigotos, los investigadores sospechan que este gen no puede existir en forma homocigótica.



*Caballo Paint Splashed-White Overo*

### **1.3.1.3. TOVERO**

Cuando un apareamiento entre un Tobiano y un overo produce una descendencia que presenta características de ambos modelos, APHA reconoce el patrón resultante como un tovero. Muchas de las combinaciones se llaman Tovero porque la mayoría son Tobiano más uno de los otros patrones.

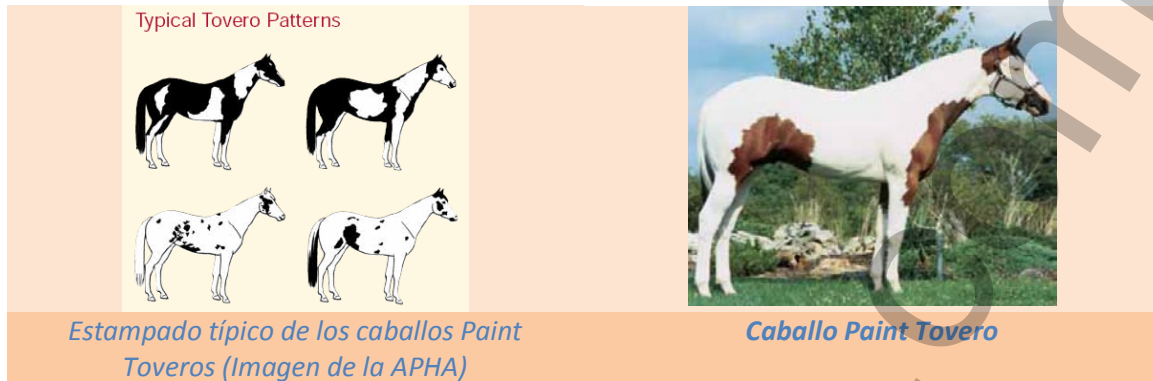
Aunque el tovero palabra ha sido parte del vocabulario de APHA desde el inicio del registro, sigue siendo hasta hoy en día algo de un término ambiguo.

Así como hay extremos dentro de los patrones de pelaje tobiano y overo, la mayoría de oscuro en su mayoría blancos, de modo hay extremos dentro de la pauta tovero.

Los caballos que pueden llamarse los “típicos” toveros, se distinguen por las características de la capa de base se muestra a continuación:

1. Pigmentación oscura alrededor de los oídos, que puede extenderse y cubrir el frente y / o los ojos.
2. Uno o ambos ojos azules.
3. Pigmentación oscura alrededor de la boca, que puede extenderse hasta los lados de la cara.
4. Manchas en el pecho que varían en tamaño. Estas también pueden extenderse hasta el cuello.
5. Manchas en los flancos que varían en tamaño. Estos son a menudo acompañados de pequeñas manchas que se extienden hasta el lomo.

6. Puntos, que varían en tamaño, en la base de la cola.



www.lacodina.com

**1.3.1.4. RESUMEN DE LOS ESTAMPADOS DE LOS CABALLOS PAINT**

	Color de los ojos	Blanco en la cabeza	Blanco en las patas	Dirección del blanco	Color de crin y cola	Blanco cruzando espina dorsal	Otros	Regularidad del blanco
<b>Tobiano</b>	Oscuros	Igual que en caballos sólidos	Bastante cantidad de blanco	Vertical	A menudo dos colores	Sí	Piel pigmentada con pelo blanco alrededor de las áreas blancas.	Sí
<b>Overo</b>	-	Mucha cantidad	No mucha cantidad	Horizontal	A menudo un color	No		A menudo No
<b>-Frame Overo</b>	A menudo azules	Mucha cantidad	Igual que en los caballos sólidos	Horizontal	A menudo un color	No	Blanco letal. Manchas blancas rodeadas por zonas con color.	No
<b>-Sabino Overo</b>	Parte azul/ parte marrón	Mucha cantidad	Patas blancas	Se extiende hacia arriba de la barriga hacia el cuerpo	A menudo un color	No	Manchas y ruanos habituales	No
<b>-Splashed White Overo</b>	Azules	Mucha cantidad	Patas a menudo blancas	Horizontal	A menudo un color	No, pero puede pasar	Pérdida de oído. Parece que el caballo se hubiera hundido en pintura blanca	A menudo Sí
<b>Tovero</b>	1 o 2 ojos azules	Oscuro en las orejas que puede llegar a cubrir la frente	Sí	-	Puede tener dos colores	Sí	Pigmentación oscura alrededor de la boca	-

## 1.3.2. ESTAMPADO DE LOS CABALLOS APPALOOSA

Antes de explicar los estampados de los caballos Appaloosa, haremos una breve descripción de las características propias de la raza que están presentes en estos caballos, y que nos permitirán, en la mayoría de los casos, distinguirlos.

### 1.3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE UN APPALOOSA

Aunque los caballos Appaloosa se suelen distinguir por sus patrones de color característicos, también tienen otras características identificativas de la raza. Las cuatro características identificativas son: el estampado de pelaje, piel moteada, blanco alrededor de los ojos y cascos con líneas verticales. Para que un caballo pueda ser registrado en la ApHC de forma normal, deberá tener patrón de pelaje o piel moteada y, además, alguna de las otras características.

#### 1.3.2.1.1. Piel Moteada o parcialmente coloreada:

Esta característica es única del caballo Appaloosa. Esta es la razón por la que es un distintivo claro de la raza. La piel moteada provoca una mezcla de zonas con piel pigmentada y zonas con piel sin pigmento –rosadas-. Es importante no confundir la piel moteada con diferencias de pigmentación –piel más oscura y más clara-.



*Piel Moteada en el morro de un caballo Appaloosa*



*Piel Moteada en el ano de un caballo Appaloosa*

#### 1.3.2.1.2. Blanco en la Zona Exterior al Iris

En los caballos appaloosa, el blanco de los ojos es fácilmente visible, a diferencia del resto de

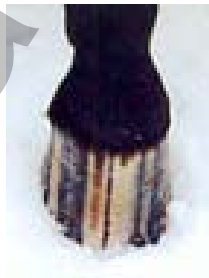


razas, que por lo general, la zona blanca de los ojos no es visible.

*Blanco en la zona exterior al iris en  
Un Appaloosa*

#### 1.3.2.1.3. Líneas verticales en los cascos

Muchos Appaloosas tienen líneas verticales bien definidas en los cascos. Estas líneas podrían aparecer después de una herida en la coroneta –zona superior del casco- o por marcas blancas en las patas. . Además, los caballos de colores claros tienden a tener líneas en los cascos. Por tanto, no todas las líneas verticales en los cascos distinguen a un caballo Appaloosa de un caballo no-Appaloosa.



*Líneas verticales en los cascos  
De los caballos Appaloosa*

### **1.3.2.2. ESTAMPADOS DE LOS CABALLOS APPALOOSA**

#### **1.3.2.2.1. Manta (Blanket)**

Se refiere a un caballo que tiene una zona sólida blanca normalmente sobre la cadera. Esta zona sólida debe ser distinguible del color base del caballo y puede abarcar más espacio que únicamente la cadera



*Estampado blanket en un Appaloosa*

#### **1.3.2.2.2. Puntos (Spots)**

Se refiere a un caballo que tiene puntos blancos o oscuros sobre todo su cuerpo o sobre tan solo una porción.



*Estampado spots en un Appaloosa*

#### 1.3.2.2.3. Manta con puntos (Blanket with Spots)

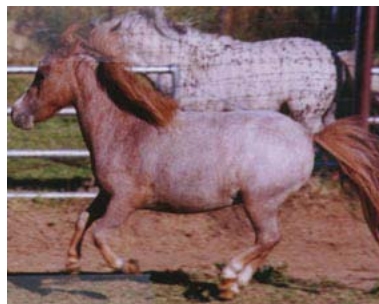
Se refiere a un caballo con manta que tiene puntos oscuros dentro del blanco. Los puntos suelen ser del mismo color que el color base del caballo.



*Estampado Blanket with spots en un Appaloosa*

#### 1.3.2.2.4. Ruano (Roan)

Un caballo con el patrón Appaloosa-Ruano, tiene zonas más claras de color en la frente y en la cara, en la espalda, lomo y caderas. Pueden aparecer zonas más oscuras en los huesos frontales de la cara, en las patas, sobre los ojos y detrás de los hombros. Un caballo ruano-appaloosa sin Manta o sin puntos necesitará alguna de las características propias de la raza para poder ser registrado de forma normal.



*Estampado Ruano en un Appaloosa*

#### 1.3.2.2.5. Manta y Ruano

Un caballo con un patrón ruano, que consista en una mezcla de pelaje claro y oscuro sobre una porción de su cuerpo. La “manta” normalmente aparecerá sobre la cadera, pero no está limitada a la cadera.



*Estampado Blanket-Roan en un Appaloosa*

#### 1.3.2.2.6. Manta ruana y puntos

Se refiere a un caballo con manta ruana que tiene puntos blancos y/o oscuros dentro de la zona ruana.



*Estampado Ruano-Blanket with spots en un Appaloosa*

#### 1.3.2.2.7. Solido

Se refiere a un caballo que tiene un color base, pero no tiene un color de contraste que forme el patrón Appaloosa. Este caballo necesitará tener piel moteada y otra característica propia de la raza Appaloosa para poder ser inscrito de forma normal en el ApHC.



*Appaloosa sólido –sin estampado–*

## **1. INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA**

### **1.1. ¿QUE ES LA GENÉTICA APLICADA A LOS CABALLOS?**

La palabra “genética” fue utilizada por primera vez por William Bateson para describir la ciencia de la herencia en 1907. La herencia es la razón de la similitud entre padres e hijos.

En 1866, Gregor Mendel estableció los principios básicos de la herencia. Sus estudios –basados en la genética de los guisantes- son aplicables a los caballos, igual que lo son a las plantas y otros animales.

Aunque la ciencia de la genética sólo ha existido desde 1990, hace más de 4000 años que se cría de forma selectiva a los animales.

La genética actual tiene en cuenta los principios de la herencia y también el estudio de la naturaleza molecular de los genes, y las reacciones bioquímicas que están relacionadas.

Nunca se debe olvidar que la variación está causada tanto por la herencia como por el ambiente. Un caballo Quarter parecerá un Quarter sin importar dónde haya sido criado. Aún así, la musculatura del caballo y su peso podrán variar en función del ejercicio y de la alimentación. La habilidad atlética y el carácter del caballo dependerán de factores ambientales – nutrición, ejercicio y capacidad del entrenador- y también de factores genéticos. Esta es la razón por la que determinadas razas equinas están mejor dotadas –en principio- para determinadas modalidades ecuestres.

Conocer la genética aplicada a los caballos es la clave para entender el color y los estampados de los caballos y también para entender -y evitar- los desórdenes genéticos de los caballos, como el síndrome del blanco letal (LWS) y el HYPP.

### **1.2. CONCEPTOS BÁSICOS**

#### **1.2.1. LOS GENES COMO BASE DE LA HERENCIA**

Los genes son las unidades básicas de la herencia. No se pueden ver a simple vista, pero sus efectos se aprecian en todas las formas de vida, incluyendo a los caballos.

Los genes son piezas de código que determinan cómo serán las células y como trabajarán. Los genes están codificados por una molécula llamada ADN. Todas las células de un mismo individuo tienen el mismo ADN que será distinto al resto de individuos. Desde que Watson y Crick descubrieron la estructura del ADN en 1953, ha habido un aumento impresionante del conocimiento de la genética.

Los humanos tenemos alrededor de 30000 genes, y se cree que los caballos tienen un número similar. Estos genes están en todas las células del cuerpo. Esto nos hace preguntarnos por qué no todas las células son idénticas. La razón general tiene que ver con la forma en que las diferentes partes de la información genética son utilizadas –o no- en células diferentes.

Cuando se estudia la genética aplicada a los caballos, puede que solo estemos preocupados por cómo los genes pasan de padres a hijos. Esta información puede resolver dudas como las probabilidades de obtener un potro de un color determinado y las posibilidades de que un potro herede algún desorden genético. El conocimiento de estos aspectos de la genética aplicada a caballos puede utilizarse para programas de cría, para optimizar las posibilidades de potros con unas características concretas o para minimizar las posibilidades de existencia de caracteres indeseados.

### 1.2.2. LOS ALELOS

Los genes para una característica determinada –por ejemplo, el color de los ojos- pueden aparecer en formas algo diferentes, llamadas alelos. Para entender la genética aplicada a los caballos es importante un conocimiento sobre los alelos y sobre su funcionamiento.

Los alelos son variantes causadas por la mutación. Cada alelo tiene un código algo diferente, que puede producir un producto algo diferente, o controlar un proceso de una forma algo diferente.

Las mutaciones ocurren de forma aleatoria. A pesar de esto, se debe recordar que la selección natural no es aleatoria.

Dado que cada gen está formado por dos alelos y, por tanto, representado dos veces en cada individuo, puede pasar que el individuo tenga dos copias del mismo alelo –llamado homocigoto para este gen- o que los dos alelos sean diferentes –llamado heterocigoto para este gen-.

La expresión externa del ADN –lo que observamos- se denomina fenotipo. Un fenotipo en particular puede estar causado por uno o más genes. Por ejemplo, el gen que determina si un caballo será gris tiene dos alelos que son simbolizados por  $G^+$  y  $G^G$ . Cada caballo tiene dos copias del gen gris -una del padre y una de la madre- y por tanto puede tener cualquiera de los genotipos:  $G^+ G^+$ ,  $G^G G^+$  o  $G^G G^G$ . Los caballos con los genotipos  $G^+ G^+$  y  $G^G G^G$  son homocigotos para el gen gris, mientras que los individuos con el genotipo  $G^G G^+$  son heterocigotos para el gen gris. Los caballos con los genotipos  $G^G G^G$  y  $G^G G^+$  tienen el alelo gris, y por tanto serán grises (su fenotipo será gris) mientras que los caballos con el genotipo  $G^+ G^+$  no tienen el gen gris y por tanto serán de cualquier otro color (no grises).

En el ejemplo anterior, se observa que el alelo  $G^+$  es dominante sobre el alelo  $G^G$ , ya que una sola copia de  $G^+$  provoca el color gris –los caballos con los genotipos  $G^G G^G$  y  $G^G G^+$  son igual de grises-. Si un alelo tiene que aparecer por duplicado para afectar al fenotipo, diremos que es un alelo recesivo.

### 1.2.3. LOS CROMOSOMAS

Los genes están colocados en filas de ADN largas. Estas filas están dobladas y se unen en estructuras llamadas cromosomas.

Las células de los caballos tienen 64 cromosomas, que se encuentran en un compartimento llamado núcleo celular. Cada lugar del cromosoma se llama loci. Cada gen tiene un lugar en particular en un cromosoma en particular. Un gen en concreto siempre estará localizado en el mismo lugar.

Cada una de las células de un caballo tiene dos copias de cada cromosoma –una proveniente del padre y la otra de la madre- En los caballos hay 32 pares de cromosomas. El cromosoma materno y paterno de cada par son homólogos. Esto significa que tienen los mismos genes en los lugares correspondientes –por tanto tienen una estructura igual-.

Debido a que cada célula deriva de un óvulo original fertilizado –en todos los seres que se reproducen por reproducción sexual-, todas las células tienen el mismo material genético. Como hemos comentado anteriormente, cada gen está representado dos veces –una en cada cromosoma homólogo-, a excepción de los cromosomas que determinan el sexo. En el caso de los caballos, las hembras tienen dos copias del cromosoma llamado X, los machos tienen un cromosoma X –de la madre- y un cromosoma Y –del padre-. Esta es la razón por la que los genes del cromosoma X puedan ser heredados de forma diferente en machos y hembras. Esta es la razón por la que los genes del cromosoma X se llaman genes ligados al sexo. Los genes del cromosoma Y solo estarán presentes en machos.

#### 1.2.4. INTRODUCCIÓN A LAS LEYES DE MENDEL

Gregor Mendel descubrió las leyes de la herencia –antes de que se conociera la existencia de los cromosomas y de los genes – observando patrones de herencia de distintos caracteres de los garbanzos. Los principios de la herencia que descubrió Mendel con sus trabajos con garbanzos son igualmente aplicables a los caballos.

Mendel descubrió que la herencia solo podría explicarse si los elementos que determinan los caracteres –alelos- existían en pares. Cada uno de estos pares se separa en los gametos –células sexuales- de forma que los óvulos y los espermatozoides solo tienen un miembro de cada par. Así, en la fertilización, cuando se unen un óvulo y un espermatozoide, se forman nuevos pares.

Siguiendo con el ejemplo de los caballos grises, explicado anteriormente, consideraremos la probabilidad de obtener un potro de color gris de una yegua gris y un caballo alazán. El caballo alazán tendrá el genotipo  $G^+ G^+$  (homocigoto para ser “no-gris”), y, sabemos que uno de los progenitores de la yegua no era gris (por lo que ella deberá ser heterocigoto para el gen gris:  $G^G G^+$ ). Así, podemos construir la tabla de Punnett para visualizar el cruce en cuanto al gen gris:

	$G^+$	$G^+$
$G^+$	$G^+ G^+$ : “no gris”	$G^+ G^+$ : “no gris”
$G^G$	$G^G G^+$ : gris	$G^G G^+$ : gris

Se observa de la tabla de Punnett que el resultado del cruce será un 50% de probabilidades de obtención de un potro heterocigoto gris ( $G^G G^+$ ) y un 50% de probabilidades de obtención de un potro “no-gris” ( $G^+ G^+$ ).

Si el cruce se hubiera realizado entre una yegua heterocigoto gris y un caballo heterocigoto gris, la tabla de Punnett construida sería la siguiente:

	$G^+$	$G^G$
$G^+$	$G^+ G^+$ : “no gris”	$G^+ G^G$ : gris
$G^G$	$G^G G^+$ : gris	$G^G G^G$ : gris

Se observa que el potro tiene un 25% de probabilidades de no ser gris, y un 75% de probabilidades de ser gris -un 50% de probabilidades de ser gris heterocigoto y un 25% de probabilidades de ser gris homocigoto-.

Si se complica un poco más el asunto, se puede estudiar el resultado de dos características diferentes combinándose en el mismo individuo.

Mendel estudió también que pasaba cuando dos características diferentes se combinaban en el mismo individuo. Un ejemplo sería el de la cría de dos caballos, ambos heterocigotos para los genes Tobiano y Champagne (genotipos:  $To^+ To^T$ ,  $CH^+ CH^C$ ). Ambos genes son dominantes, por lo que el fenotipo que se observará en estos caballos será champagne y Tobiano. Podemos construir una tabla de Punnett para ver las posibilidades de cría:

	$To^T CH^C$	$To^T CH^+$	$To^+ CH^C$	$To^+ CH^+$
$To^T CH^C$	$To^T To^T CH^C CH^C$ Champagne y Tobiano	$To^T To^T CH^+ CH^C$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^T CH^C CH^C$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^T CH^+ CH^C$ Champagne y Tobiano
$To^T CH^+$	$To^T To^T CH^C CH^+$ Champagne y Tobiano	$To^T To^T CH^+ CH^+$ Alazán y Tobiano	$To^+ To^T CH^C CH^+$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^T CH^+ CH^+$ Alazán y Tobiano
$To^+ CH^C$	$To^+ To^T CH^C CH^C$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^T CH^C CH^+$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^+ CH^C CH^C$ Champagne no tobiano	$To^+ To^+ CH^C CH^+$ Champagne no tobiano
$To^+ CH^+$	$To^+ To^T CH^+ CH^C$ Champagne y Tobiano	$To^+ To^T CH^+ CH^+$ Alazán y Tobiano	$To^+ To^+ CH^+ CH^C$ Champagne no tobiano	$To^+ To^+ CH^+ CH^+$ Alazán y no tobiano

Se observa que hay un 56,25% (9/16) de probabilidades de obtención de un potro con ambos genes (Champagne y Tobiano), un 18,75% de probabilidades de obtención de un potro Alazán y

Tobiano, un 18,75% de probabilidades de obtención de un potro Champagne pero no Tobiano, y un 6,25% de probabilidades de obtención de un potro Alazán y no Tobiano.

En los ejemplos explicados hasta ahora, cada uno de los genes estudiados estaba en un cromosoma diferente y además no son genes ligados al sexo. En los casos en los que los genes están en el mismo cromosoma o que son genes ligados al sexo, los ratios estudiados hasta ahora no sirven. Además, en los casos estudiados hasta ahora, siempre había un gen completamente dominante sobre el otro.

#### 1.2.4.1. DOMINANCIA PARCIAL

En los casos de dominancia completa, el heterocigoto tiene el mismo fenotipo que el homocigoto dominante. En el caso de la dominancia parcial (semi-dominancia o dominancia incompleta) el sujeto heterocigoto muestra un fenotipo que es la forma intermedia entre las formas homocigóticas. Un ejemplo sería el gen de dilución Crema (los dos alelos conocidos son el  $C^{CR}$  –alelo dominante causante de las diluciones crema- y el  $C^+$ -alelo recesivo que no causa dilución-).

Los caballos alazanes de color base con el genotipo  $C^+C^+$  son de color alazán, mientras que los que tienen el genotipo  $C^{CR}C^{CR}$  son cremellos. Los caballos con el genotipo  $C^+C^{CR}$  son palominos –un color intermedio entre las dos formas homocigóticas-.

Si dibujamos la tabla de Punnett para el cruce de dos caballos palominos, se observará lo siguiente:

	$C^+$	$C^{CR}$
$C^+$	$C^+C^+$ : Alazán	$C^+C^{CR}$ : Palomino
$C^{CR}$	$C^{CR}C^+$ : Palomino	$C^{CR}C^{CR}$ : Cremello

Así se observa que en el cruce de dos caballos Palominos, habrá un 50% de probabilidades de obtención de un potro palomino, un 25% de probabilidades de obtención de un potro Cremello y un 25% de probabilidades de obtención de un potro alazán.

### 1.2.4.2. CO-DOMINANCIA

En el caso de la co-dominancia, ambos alelos se expresan en el fenotipo, y el caso heterocigoto muestra los caracteres de ambos alelos. Los patrones de herencia de la co-dominancia son similares a los de la dominancia parcial.

El ejemplo más conocido de la co-dominancia es el de los grupos sanguíneos, por ejemplo, el grupo AB tiene anticuerpos del tipo A y también del tipo B.

### 1.2.4.3. ALELOS LETALES

Hay algunos ejemplos de alelos letales conocidos en los caballos, incluyendo el alelo del blanco y el alelo del overo (causante del LWS). Los alelos letales modifican el ratio de obtención de un potro con unas características determinadas, ya que hay ejemplares que no sobreviven.

Un ejemplo sería el del alelo responsable del color blanco –simbolizado  $W^W$  (dominante) y  $W^+$  (recesivo). Los caballos con el alelo  $W^W$  tienen los ojos oscuros y la capa blanca.

No se sabe de la existencia de caballos con el genotipo  $W^W W^W$ . La cría entre caballos blancos siempre produce caballos con color, lo que indica que los progenitores son heterocigotos. Parece que los caballos homocigotos  $W^W W^W$  mueren antes de nacer. Por tanto, el alelo  $W^W$  actúa como dominante en cuanto a visible y recesivo en cuanto a letal. El cuadro de Punnett para la cría de dos caballos blancos muestra lo siguiente:

	$W^W$	$W^+$
$W^W$	$W^W W^W$ : Muere antes de nacer	$W^W W^+$ : Blanco
$W^+$	$W^W W^+$ : Blanco	$W^+ W^+$ : Color "no-blanco"

Se observa que en el caso de cría de dos caballos blancos, habrá un 50% de probabilidades de obtención de un potro blanco, un 25% de probabilidades de obtención de un potro con color y un 25% de probabilidades de que el potro nazca antes de nacer.

Otro ejemplo muy conocido es el del gen letal de los caballos Overo. Hay numerosos genes que causan el estampado de la capa de los caballos. Los caballos Overo son heterocigotos para el gen Overo (que es letal si se encuentra de forma homocigótica). El alelo muestra pleiotropía, lo

que significa que tiene más de un efecto en el fenotipo. Los caballos homocigotos  $O^0O^0$  son blancos con ojos azules y mueren temprano debido a malformaciones en el sistema digestivo.

#### 1.2.4.4. EPISTASIS

La epistasis es una interacción entre los genes en la que un alelo de un gen esconde la expresión de otro gen. El fenotipo está gobernado por uno de los dos genes. El genotipo que no deja que se muestre el otro se le llama epistático y al genotipo que no se puede observar se le llama hipostático. Existen numerosos ejemplos de relaciones epistáticas entre genes de caballos, especialmente en cuanto a los genes que gobiernan el color de la capa de los caballos.

Los alelos epistáticos pueden ser recesivos o dominantes. Si son recesivos, los individuos homocigotos recesivos para el alelo epistático tienen el mismo fenotipo sin importar el genotipo del segundo gen.

Un ejemplo de epistasis recesiva se puede observar en el caso de los genes Agouti y Extension, que marcan la diferencia entre el negro, el castaño y el alazán. Los alelos recesivos del gen Extensión son epistáticos y los alelos del gen agouti son hipostáticos. El gen extensión da información de si el caballo podrá ser alazán –homocigoto recesivo (ee)- o no podrá ser alazán –homocigoto dominante (EE) o heterocigoto (Ee)-, mientras que el gen Agouti da información de si el pigmento negro estará distribuido sobre toda la capa del caballo –homocigoto recesivo (aa)- o sólo en algunos puntos (crin, cola y zona inferior de las patas) –homocigoto dominante (AA) o heterocigoto (Aa)-. Si en un caballo se encuentra el gen extensión en su forma homocigota recesiva (caballo alazán), el gen Agouti no tendrá efecto, ya que no habrá pigmento negro en ningún punto de la capa del caballo.

Podemos dibujar la tabla de Punnett de probabilidades de cría entre dos caballos castaños, ambos heterocigotos para el gen Extensión y para el gen Agouti.

	A E	A e	a E	a e
A E	AA EE: Castaño	AA Ee: Castaño	Aa EE: Castaño	Aa Ee: Castaño
A e	AA Ee: Castaño	AA ee: Alazán	Aa Ee: Castaño	Aa ee: Alazán
a E	Aa EE: Castaño	Aa Ee: Castaño	aa EE: Negro	aa Ee: Negro
a e	Aa Ee: Castaño	Aa ee: Alazán	aa Ee: Negro	aa ee: Alazán

Del ejemplo anterior se observa que habrá un 56,25% de probabilidades de obtención de un caballo Castaño, un 25% de probabilidades de obtención de un caballo alazán y un 18,75% de probabilidades de obtención de un caballo negro.

Un ejemplo de epistasis dominante en los caballos se observa en el gen del color gris. Los caballos con una copia del alelo  $G^G$  serán grises sin importar el genotipo de otros genes que controlen el color de la capa. Podemos considerar el ejemplo de cruce de una yegua y de un caballo, ambos grises heterocigotos ( $G^G G^+$ ) y heterocigotos del extensión ( $Ee$ ). Dibujemos la tabla de Punnett para el ejemplo anterior:

	$G^G E$	$G^G e$	$G^+ E$	$G^+ e$
$G^G E$	$G^G G^G EE$ : Gris	$G^G G^G Ee$ : Gris	$G^G G^+ EE$ : Gris	$G^G G^+ Ee$ : Gris
$G^G e$	$G^G G^G Ee$ : Gris	$G^G G^G ee$ : Gris	$G^G G^+ Ee$ : Gris	$G^G G^+ ee$ : Gris
$G^+ E$	$G^G G^+ EE$ : Gris	$G^G G^+ Ee$ : Gris	$G^+ G^+ EE$ : Castaño o negro	$G^+ G^+ Ee$ : Castaño o negro
$G^+ e$	$G^G G^+ Ee$ : Gris	$G^G G^+ ee$ : Gris	$G^+ G^+ Ee$ : Castaño o negro	$G^+ G^+ ee$ : Alazán

Se observa de la tabla anterior que habrá un 75% de probabilidades de obtención de un caballo gris, un 18,75% de probabilidades de obtención de un caballo de color castaño o negro y un 6,25% de probabilidades de obtención de un caballo de color alazán.

#### 1.2.4.5. VINCULACIÓN ENTRE GENES

Todo lo mencionado hasta ahora funciona sólo si los genes que controlan los caracteres están localizados en cromosomas diferentes. Los genes vinculados no funcionan de forma independiente en la herencia.

La vinculación es la asociación de los genes en su herencia debido a que están localizados en el mismo cromosoma. Cuando observamos caracteres hereditarios por genes vinculados, no observamos los ratios típicos de genes heredados de forma no vinculada. Un ejemplo podría ser el causante de la enfermedad equina CID. Los caballos homocigotos para el alelo recesivo que provoca esta enfermedad tienen deficiencias en el sistema inmunitario y los potros mueren a los 3 meses. Se cree que un cuarto de los caballos árabes son portadores de esta enfermedad.

Para poder estudiar el alelo causante de la enfermedad equina CID, fue necesario identificar un gen “marcador” que estuviera vinculado al alelo causante de la enfermedad equina CID. En este caso, el gen marcador fue el HTG8.

Denominamos al gen equino CID como D y al marcador como M, siendo d el alelo portador de la enfermedad y m el otro alelo del marcador. Si M y D están cerca en el mismo cromosoma, podemos esperar gametos DM y dm en proporciones similares. Dibujamos la tabla de Punnett si un caballo portador se cruza con una yegua no portadora:

	D M	d m
D M	DD MM: caballo no portador	dD Mm: caballo portador
D M	DD MM: caballo no portador	dD Mm: caballo portador

El resultado es que hay una probabilidad del 50% de que el potro sea portador de la enfermedad y una probabilidad del 50% de que el potro no sea portador de la enfermedad.

Si ambos progenitores fueran portadores de la enfermedad:

	D M	d m
D M	DD MM: caballo no portador	Dd Mm: caballo portador
d m	Dd Mm: caballo portador	dd mm: caballo enfermo

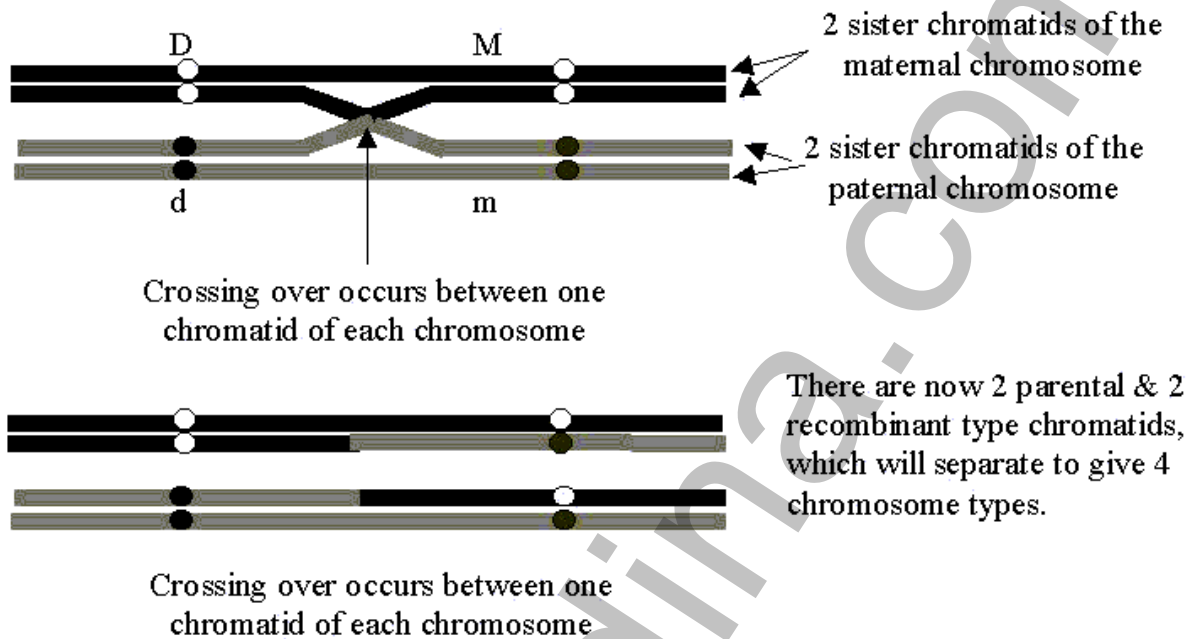
Habrá un 50% de probabilidades de que el potro sea portador de la enfermedad equina CID, un 25% de probabilidades de que el potro no sea portador de la enfermedad y un 25% de probabilidades de que el potro tenga la enfermedad equina CID.

Estos son los ratios que se pueden esperar de los genes vinculados, ya que en estos casos los genes se heredan como una única unidad. Si los genes no estuvieran vinculados sería igual de probable encontrar el gen D con un alelo M o m, por lo que se podrían esperar 4 gametos en proporciones iguales.

#### 1.2.4.5.1. Vinculación parcial entre genes

Hay muchos genes que están vinculados parcialmente, esto significa que existen 4 genotipos posibles pero que no están en iguales probabilidades. La razón por la que esto pasa es porque los cromosomas maternos y paternos se mezclan en un proceso llamado “crossing over”. Este

proceso permite nuevas combinaciones de caracteres y por tanto es una fuente de variación genética. Cuanto más cerca están los genes en un cromosoma, más probable es que se hereden juntos.



La proporción de genotipos recombinantes (Dm y dM) depende de la cantidad de “crossing over” entre los loci, que aumenta en función de la distancia entre ellos.

Si siempre hay “crossing over” entre dos genes –ya que están lejos en el cromosoma- los genes no se consideran vinculados genéticamente y los ratios que se esperan del cruce son iguales que para los genes independientes.

En la vinculación parcial, no se puede decir que los genes están completamente ligados – siempre se heredan juntos- pero tampoco se puede decir que los genes son independientes.

Un ejemplo de vinculación parcial en el caso de los colores de capa de los caballos sería el gen extensión (E y e) que está vinculado parcialmente a los genes del Ruano (Rn) y Tobiano (To). Debido al “crossing over”, podemos encontrarnos con los genotipos  $E To^T$ ,  $E To^+$ ,  $e To^T$  o  $e To^+$ . En el caso del cruce de dos caballos heterocigotos para el gen tobiano y para el gen Extensión, si consideramos que el 20% de los gametos tiene genotipos recombinantes y que ambos caballos son homocigotos para la forma recesiva del gen Agouti (caballos negro), podemos dibujar la siguiente tabla de Punnett:

	40% E To <sup>T</sup> tipo parental	10% E To <sup>+</sup> tipo recombinante	10% e To <sup>T</sup> tipo recombinante	40% e To <sup>+</sup> tipo parental
40% E To <sup>T</sup> tipo parental	EE To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 16% negro y Tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro y Tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 4% negro y Tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 16% negro y Tobiano
10% E To <sup>+</sup> tipo recombinante	EE To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro y Tobiano	EE To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 1% negro	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 1% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro
10% e To <sup>T</sup> tipo recombinante	Ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 4% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>T</sup> : 1% negro y Tobiano	ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 1% alazán y Tobiano	ee To <sup>+</sup> To <sup>T</sup> : 4% alazán y Tobiano
40% e To <sup>+</sup> tipo parental	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 16% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro	ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 4% alazán y Tobiano	ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 16% Alazán

De la tabla anterior se observa que las probabilidades de obtención de un potro Negro y tobiano son:  $(0,16*3 + 0,04*4 + 0,01*2)$  de un 66%, las probabilidades de obtención de un caballo sólido negro son de un 9%, las probabilidades de obtención de un caballo alazán tobiano son de un 9% y las probabilidades de obtención de un caballo alazán sólido son de un 16%.

Debe tenerse en cuenta que la recombinación puede ser diferente en caballo diferentes y especialmente entre razas de caballos diferentes. En el ejemplo anterior, si aumentamos el ratio de recombinación podemos dibujar la tabla de Punnett que sigue:

	2% E To <sup>T</sup> tipo parental	48% E To <sup>+</sup> tipo recombinante	48% e To <sup>T</sup> tipo recombinante	2% e To <sup>+</sup> tipo parental
2% E To <sup>T</sup> tipo parental	EE To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 0,04% negro y tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro y Tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 4% negro y Tobiano	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 0,04% negro y Tobiano
48% E To <sup>+</sup> tipo recombinante	EE To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 0,96% negro y Tobiano	EE To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 23,04% negro	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 23,04% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 0,96% negro
48% e To <sup>T</sup> tipo recombinante	Ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 0,96% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>T</sup> : 23,04% negro y Tobiano	ee To <sup>T</sup> To <sup>T</sup> : 23,04% alazán y Tobiano	ee To <sup>+</sup> To <sup>T</sup> : 0,96% alazán y Tobiano
2% e To <sup>+</sup> tipo parental	Ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 0,04% negro y Tobiano	Ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 4% negro	ee To <sup>T</sup> To <sup>+</sup> : 4% alazán y Tobiano	ee To <sup>+</sup> To <sup>+</sup> : 0,04% Alazán

Así, las probabilidades de obtención de un potro negro y tobiano son de un 50,04%, las probabilidades de obtención de un potro negro sólido son de un 24,96%, las probabilidades de obtención de un caballo alazán y tobiano son de un 23,04% y las probabilidades de obtención de un caballo alazán sólido son de un 0,04%

#### 1.2.4.5.2. Genes vinculados al sexo

Los genes vinculados al sexo están en los cromosomas sexuales (los cromosomas X e Y). De hecho, la mayoría de genes vinculados al sexo se encuentran en el cromosoma X –ya que el cromosoma Y es mucho más pequeño y tiene, por tanto, muchos menos genes–.

Debido a que los cromosomas X e Y no son homólogos, los machos tienen solo un alelo para cada uno de los genes ligados al sexo. Se dicen que son hemocigotos. El resultado es que hay alelos recesivos que son expresados sin necesidad de ser homocigotos (sí que lo tendrían que ser en el caso de las hembras).

Especialmente, cuando los alelos son extraños, como aquellos para los desórdenes genéticos, tienden a existir de forma heterocigota en hembras (ya que el alelo extraño es menos probable). Esto hace que los problemas genéticos recesivos ligados al sexo sean menos probables en hembras que en machos. Un ejemplo de esto serían algunos tipos de cegueras. La herencia de los cromosomas sexuales es de un 50% de machos y un 50% de hembras, como se muestra en la tabla siguiente:

	X	X
X	XX: Hembra	XX: Hembra
Y	XY: Macho	XY: Macho

## 2. GENÉTICA DE LOS COLORES DE LAS CAPAS: EXTENSIÓN / AGOUTI

El primer paso para entender la genética de los colores de capa de los caballos es entender los dos genes más básicos que pueden afectar la coloración de un caballo. Estos factores son el gen Extensión y el gen Agouti.

### 2.1. EL GEN EXTENSIÓN (FACTOR ROJO)

El gen extensión nos da la información de si un caballo tendrá la posibilidad de ser rojo o no. El gen extensión (factor rojo) tiene dos posibilidades (alelos) diferentes. El alelo dominante E produce el color negro en la capa. El alelo recesivo e produce el color rojo (alazán). Los caballos rojos (alazán, palomino, alazán-ruano...) son homocigotos, lo que significa que tienen dos alelos para el alelo recesivo rojo (ee). Los caballos pigmentados con el color negro (negros, castaños, bocifuegos...) tienen al menos un alelo E. Pueden ser EE (homocigotos) o Ee (heterocigotos). Un caballo homocigoto EE nunca podrá tener hijos alazanes, independientemente del color del caballo con el que emparejemos.

En resumen:

ee	El caballo es homocigoto para el rojo (ee). El color básico del caballo es el alazán, aunque, dependiendo de otros genes, el caballo puede ser palomino, alazán-ruano, gris, cremello, blanco o de cualquier de estos colores con patrones de pelaje como son el tobiano, el overo el ruano o el appaloosa.
Ee	El caballo es heterocigoto para el factor rojo. Puede transmitir tanto el gen E como el e a sus hijos. El color básico del caballo será el negro, castaño o bocifuego, aunque dependiendo de otros genes, el caballo podría ser buckskin, grullo, perlino, gris, blanco, o cualquiera de estos colores con los patrones de pelaje blancos como son el tobiano, el overo, el ruano y el appaloosa.
EE	El caballo es homocigoto para el pigmento negro. No puede tener hijos con pigmentación roja. El color básico del caballo será el negro, castaño o bocifuego, aunque dependiendo de otros genes, el caballo podría ser buckskin, grullo, perlino, gris, blanco, o cualquiera de estos colores con los patrones de pelaje blancos como son el tobiano, el overo, el ruano y el appaloosa.

## 2.2. EL GEN AGOUTI (DISTRIBUCIÓN DE LA COLORACIÓN NEGRA)

El gen Agouti controla la posición en la que se encontrará la pigmentación negra. El alelo dominante A restringe el pigmento negro en algunos puntos del cuerpo (crin, cola, punta de las orejas y parte baja de las patas), como se observa en los caballos castaños y buckskins. El alelo recesivo a distribuye de forma uniforme el pigmento negro sobre todo el cuerpo.

Los criadores interesados en producir caballos negros necesitan tener unos caballos de cría que tengan el alelo a, además del alelo E del gen Extensión.

En resumen:

AA o Aa	El pigmento negro se encuentra distribuido en algunos puntos. El color básico del caballo será el bocifuego o castaño, en ausencia de otros genes modificadores del color. El gen A no tiene efecto si el caballo tiene pigmentación roja (ee).
aa	El pigmento negro se distribuye de manera uniforme. El color básico del caballo será el negro en ausencia de otros genes modificadores de color. El gen a no tiene efecto si el caballo tiene pigmentación roja (ee).

### 3. GENÉTICA DE LOS COLORES DE LAS CAPAS: MODIFICADORES DE COLOR

Ahora que entendemos por completo el gen Agouti y el gen Extension, es hora de empezar a trabajar con los genes que diluyen el color de la capa de un caballo y los genes que afectan al patrón de pelaje (mezcla de pelos blancos y coloreados). En este artículo, hemos incluido la mayoría de los genes típicos que afectan a los cuarto de milla, aunque hay algunos genes de dilución y de patrón no explicados que pueden afectar a otras razas.

#### 3.1. GENES DE DILUCIÓN

Los genes de dilución hacen que todos los pelos del caballo cambien de color. Se explican cinco tipos a continuación: Champagne, Crema, Dun, Perla y Dilución plateada

##### 3.1.1. CHAMPAGNE

El gen Champagne es el responsable de los colores de capa: champagne dorada, champagne ámbar, champagne bocifuego y champagne clásica.

Se trata de un gen dominante que diluye pigmento del pelo de negro a marrón y de rojo a oro.

El gen Champagne diluyendo una capa alazán (capa champagne dorada) produce un color dorado de la capa, que a menudo va acompañado de crin y cola de color claro, lo que hace que sea fácil de confundir con un palomino. El gen Champagne diluyendo una capa castaña (capa champagne ámbar) produce un color de cuerpo bronceado con puntos de color marrón. El gen Champagne actuando sobre una capa negra (capa champagne clásica) produce una capa oscura con puntos marrones.

La piel de los caballos diluidos con el gen Champagne es rosa/lila y aparecen en tonos moteados con la edad. El moteado es particularmente evidente alrededor de los ojos, hocico y debajo de la cola. El color de los ojos es azul-verde en el nacimiento y se oscurece a ámbar a medida que el caballo crece.

El gen Champagne se hereda independientemente de los genes de otro color de capa y por lo tanto esta dilución puede producirse en combinación con cualquiera de los otros genes que modifican el color.

En resumen:

ch/ch	El color del caballo no está diluido por el gen Champagne. Los caballos son castaños, alazanes, negro o bocifuegos en ausencia de otros genes modificadores.
ch/Ch	De color alazán (color rojo) se diluye a color oro, el castaño se diluye a color bronceado con puntos de color marrón oscuro y la capa negra se diluye a color canela con puntos de color marrón. El caballo puede transmitir la dilución de champán a su descendencia o no.
Ch/Ch	De color castaño (color rojo) se diluye a color oro, el castaño se diluye a color bronceado con puntos de color marrón oscuro y la capa negra se diluye a color canela con puntos de color marrón. Toda la descendencia tendrá la dilución Champagne.

### 3.1.2. CREMA

El gen de la dilución Crema es responsable de las capas palomino, baya, cremello, perlino, negra crema y bocifuego crema. Hay dos alelos para este gen: CCr y C.

CCr es semi-dominante y diluye rojo a amarillo, en dosis única (Palominos, baya) y crema pálido en dosis doble (cremellos, perlinos, crema negra y bocifuego crema). El gen Crema puede tener un efecto muy sutil cuando diluye el pigmento negro.

C es recesivo y no diluye el color base de la capa.

En resumen:

C/C	No diluido. En ausencia de otros genes modificadores de color, se observarán los colores básicos: alazán, castaño, bocifuego y negro
C/CCr	Heterocigoto. Se dá una dilución por el alelo Crema . El castaño se diluye a bayo (buckskin) y el alazán a palomino. En el caso del bocifuego y negro, casi no se observa la dilución. El caballo puede transmitir la dilución crema a sus hijos o no.
CCr/CCr	Doble diluido (dos copias del alelo CCr). El castaño se diluye a perlino; El alazán se diluye a cremello; el negro a negro crema (aspecto perlino) y el Bocifuego a Bocifuego Crema (aspecto perlino). El caballo siempre transmitirá la dilución crema a su descendencia.

	Una dilución crema	Dos diluciones crema
<b>Alazán</b>	Palomino	Cremello
<b>Castaño</b>	Buckskin/Bayo	Perlino
<b>Negro</b>	No se observa	Negro Crema

### 3.1.3. DUN

El gen Dun es dominante y diluye el color del pelo del cuerpo del caballo, dejando algunos puntos y la cabeza inafectados. Los Caballos Dun también muestran "señales primitivas" que consisten en la línea dorsal oscura, líneas (cebrado) en las patas, líneas en los hombros y marcas concéntricas en la frente.

La línea dorsal parece ser una característica constante de los caballos dun mientras que el resto de "marcas primitivas" pueden variar y no todas tienen que estar presentes, o visibles. El efecto del gen Dun en los colores de capa alazán (red dun), castaño (dun, bayo cervuno), bocifuego (ratonero bocifuego) y negra (grullo, ratonero) produce caballos con matices que van desde el albaricoque, el dorado, variaciones de color gris oscuro, verde olivo, y muchos más sutiles. El gen Dun se hereda independientemente de los genes de otro color de capa y puede ocurrir combinado con otros genes que modifican el color base de la capa.

En resumen:

	<b>Existencia del gen Dun:</b>
<b>Alazán</b>	Red dun
<b>Castaño</b>	Bayo cervuno (Dun)
<b>Negro</b>	Ratonero (Grullo)

### 3.1.4. PERLA

El gen de dilución Perla es un gen de color identificado recientemente. Se cree que su origen está en los caballos de descendientes del "caballo Español". La presencia de este gen está confirmada en los caballos de origen Ibérico, como el Lusitano y el PRE. El efecto de la dilución Perla es muy similar al efecto de las diluciones crema y champagne, aunque sea causado por un gen distinto.

El gen de dilución Perla es un gen recesivo, por lo que solo afectará la capa de los caballos portadores en dos ocasiones:

- Están presentes dos copias del gen de dilución perla (el caballo es homocigoto para el gen recesivo perla). Estos caballos tendrán una capa más clara y la piel pálida. Por ejemplo, un caballo alazán afectado por dos copias del gen perla, tendrá un color de melocotón claro en la capa, la crin y la cola; piel pálida y color de los ojos marrón claro.

- Está presente una copia del gen recerivo de dilución perla y además el gen de dilución crema. La convinación del gen dominante Crema y el gen Perla, dará un color de capa pálido, similar al de los caballos homocigotos para el gen Crema. La piel es pálida y los ojos son de un color azul/verde.

Prl/Prl	Homocigoto para el gen Perla. El efecto del gen se mostrará. El caballo tendrá piel pálida y color aclarado en capa, cola y crin.
-/Prl	Heterocigoto. No se mostrará la dilución Perla, a no ser que el caballo esté diluido también por el gen Crema (en este caso, la apariencia será de un caballo heterocigoto para el Crema). Approx. El 50% de la descendencia del caballo tendrá el gen Perla.
-/-	Ausencia del gen Perla.

### 3.1.5. DILUCIÓN PLATEADA

El gen de dilución plateada es un gen dominante. Este gen únicamente afectará a los caballos con pigmentación negra (EE o Ee) y no tendrá efecto sobre los caballos con pigmentación roja (ee).

Los efectos del gen de dilución plateada pueden variar enormemente. Si el color base del caballos es el negro uniforme, el gen de dilución plateada, por lo general, aclarará el color de la crin y de la cola y diluirá el color de la capa a un color chocolate. Si el color base del caballo es castaño, el gen de dilución plateada aclarará el color de la crin y la cola, y la zona inferior de las patas. Si el caballo es alazán, no sera diluido por el gen de dilución Plateada, aunque sí que puede pasar el gen a su descendencia.

En resumen

Z/Z	Homocigoto para el gen de dilución Plateada. El efecto del gen se mostrará. Los caballos negros y castaños tendrán la crin y la cola de un color claro. No se observará nada en los caballos alazanes
-/Z	Heterocigoto. Se mostrará la dilución Plateada. Los caballos negros y castaños tendrán la crin y la cola de un color claro. No se observará nada en los caballos alazanes. Transmitirá a aproximadamente el 50% de la descendencia el gen de dilución plateada
-/-	Ausencia del gen de Dilución Plateada

## 3.2. GENES QUE AFECTAN LA APARIENCIA DE COLOR

Estos genes hacen que en la capa del caballo haya una mezcla de pelos con color y pelos blancos. Se explican los que afectan a los cuartos de milla, que son el gen gris y el gen ruano.

### 3.2.1. GRIS

El gen Gris (G) causa despigmentación progresiva del pelo, a menudo el caballo es completamente blanco a la edad de 6-8 años. Los caballos que heredan el gen gris pueden nacer de cualquier color y luego, poco a poco, comienzan a mostrar pelos blancos mezclados con los de color de nacimiento en todo el cuerpo. Por lo general, los primeros signos de la acción del gen Gris se pueden encontrar en la cabeza, especialmente alrededor de los ojos. El gen Gris es dominante, por lo tanto, una única copia de este gen provocará un caballo gris. Si un caballo tiene dos copias de del gen Gris, toda su descendencia será gris.

En resumen:

g/g	El caballo no se volverá gris
g/G	El caballo sera gris y aproximadamente el 50% de su descendencia también
G/G	El caballo se volverá gris, y toda su descendencia también

### 3.2.2. RUANOS

Los caballos ruanos tienen pelos blancos distribuidos por todo el cuerpo, con excepción de la cara, la cola, la crin y la zona inferior de las patas. El gen ruano puede dar al caballo un efecto plateado. Los caballos ruanos pueden ser de cualquier color. La diferencia entre los caballos ruanos y los grises es que los ruanos no se vuelven más blancos a medida que pasa el tiempo. Podría pasar que el gen ruano no se mostrara hasta que el potro no ha cambiado el primer pelaje, pero después, se mantiene constante a lo largo de los años.

Algunos caballos ruanos se vuelven más oscuros a medida que pasa el tiempo. Pueden cambiar un poco de color según la estación, pero la crin, la cola y la zona inferior de las patas siempre mantendrán pelos coloreados.

El alelo ruano es dominante, por lo que aunque un caballo solo tenga un gen ruano, lo mostrará.

En resumen:

r/r	El caballo no es ruano, no transmitirá el gen ruano a su descendencia
r/R	El caballo es ruano y podrá – o no- transmitir el gen a su descendencia
R/R	El caballo es ruano y su descendencia también

## 4. GENES QUE AFECTAN AL ESTAMPADO DE LOS CABALLOS PAINT

### 4.1. TOBIANO

El estampado Tobiano está bajo el control del gen dominante TO. El genotipo más habitual del tobiano es el heterocigoto (toTO), aunque también existen caballos homocigotos Tobianos. Estos caballos, no tienen más blanco en la capa que los heterocigotos, aunque, se ha observado que los caballos tobianos homocigotos a menudo tienen manchas de pelos con color en las áreas blancas del pelaje.

Actualmente no existe ningún ensayo de laboratorio para saber si un caballo tiene o no el gen TO. Se considera que un caballo es 97% homocigoto (TOTO) cuando criando con 5 caballos sólidos produce 5 potros tobianos.

Se conoce que el gen Ruano está ligado al Tobiano, ya que es extremadamente difícil encontrar un caballo Paint que sea Ruano y Tobiano a la vez.

### 4.2. OVERO

Actualmente se conoce muy poco sobre el gen Overo. Se cree que los estampados overo están bajo la influencia de uno o más genes dominantes. Se cree que hay un gen diferente para cada tipo de Overo (un gen para el frame Overo, otro para el Splashed-White Overo y otro para el Savino Overo), pero también podría ser que existiera un único gen para el Overo y que la diferencia de estampado entre los distintos tipos de Overos sea consecuencia de modificadores de genes.

#### 4.2.1. FRAME OVERO

Todos los caballos que muestran el Fenotipo (estampado) Frame Overo, producirán potros Frame Overo el 50% de las veces, independientemente de la cantidad de expresión del gen.

El gen que provoca el estampado Frame Overo (Fr), si presente en dosis doble provoca, también, el síndrome del Blanco Letal (LWS). Así, se considera que este gen es dominante para el estampado de las capas, pero es recesivo en cuanto a la producción de Blanco Letal.

Así, algunos creen que los caballos que muestran el estampado Frame Overo son heterocigotos y tienen una copia del gen Fr. Se cree que los caballos con dos copias de este gen (homocigotos FrFr), padecen el síndrome del Blanco Letal –el potro nace prácticamente blanco, con anomalías en los intestinos- y mueren poco después de nacer.

Según estas hipótesis, el emparejamiento de dos caballos frame-overo, daría como resultado un 25% de la descendencia enferma de LWS, un 25% de la descendencia Sólida y el 50% restante con el estampado Frame-Overo. Por otro lado, el emparejamiento de un caballo Frame-Overo y un caballo sólido daría como resultado un 50% de la descendencia Sólida y un 50% de la descendencia con patronaje Frame-Overo.

	Fr	No Fr		Fr	No Fr
Fr	LWS	Fr	No Fr	Fr	Solid
No Fr	Fr	Solid	No Fr	Fr	Solid
<i>Emparejamiento de dos caballos Frame Overo heterocigotos</i>			<i>Emparejamiento de un caballo Frame Overo heterocigoto y un caballo sólido</i>		

No obstante, se han dado casos en que caballos Frame Overo que se han emparejado con caballos sólidos y han producido potros enfermos de LWS. Hay dos hipótesis que pueden dar respuesta a este dilema:

- Los caballos sólidos con los que se había emparejado a los Frame-Overo podrían ser, en realidad, caballos Frame-Overo con un estampado tan mínimo que no fue observado; así, la descendencia podría haber nacido homocigota para el gen Fr.
- El LWS, en realidad, podría ser causa de la acción de algún otro gen relacionado con el Frame-Overo, que en ocasiones provoca potros con LWS.

#### 4.2.2. SPLASHED WHITE OVERO

El gen relacionado con este genotipo aun no ha sido identificado. A menudo, los Splashed-White pueden ser confundidos por caballos sólidos.

Algunos creen que el estampado Overo Splashed-White, es el resultado de una dominancia incompleta, ya que los homocigotos muestran las características del fenotipo, y los heterocigotos pueden ser sólidos o mostrar manchas mínimas.

Por otro lado, los estudios de la Dra. Bowling –autora del libro “Horse Genetics”, afirman que el estampado Splashed-White está provocado por un gen dominante (Spl). No obstante, hoy en día aún no se conoce de ningún emparejamiento de dis Overos Splashed-White que hayan tenido un descendiente homocigoto para el Splashed-White.

#### 4.2.3. SABINO OVERO

El fenotipo de los caballos Sabinos-Overos es poligénico. Se cree que hay dos genes que trabajan juntos para conseguir el estampado Sabino.

Se han dado casos de potros muertos por LWS, cuando se han mezclado dos progenitores Sabinos. No obstante, también se han dado casos de potros blancos viables.

#### 4.3. TOVERO

Lo más curioso de la genética de los caballos Paint, es que los cuatro genes anteriores se pueden combinar entre ellos. Se considera que un Tovero es el patrón resultante de la combinación del gen Tobiano con cualquiera de los genes Overo.

Si se considera que hay un gen para cada tipo de estampado Paint de los que se ha hablado anteriormente (Tobiano, Splashed-White Overo, Frame Overo y Sabino Overo). Un caballo con dos de los genes de estampado Paint debería producir hijos estampados el 75% de las veces, si el caballo tiene tres genes independientes Paint, debería producir hijos estampados el 87,5%

de las veces. En el caso de un caballo Paint con los cuatro genes descritos anteriormente, el porcentaje de descendencia con estampado Paint debería llegar al 94%, apareando con caballos sólidos. Si esta teoría es correcta, hay muchas formas de aumentar las probabilidades de producir potros con color. El problema es que cuantas más copias de genes Paint tiene el caballo, más blanco es. Además, algunos apareamientos pueden producir el LWS.

www.lacodina.com