

ESTANDARIZACIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS FENOTÍPICOS

Conocimientos previos requeridos

análisis de varianza, modelo lineal de tipo II (a efectos fijos)

Conceptos previos requeridos

estructura reproductiva de las poblaciones de animales domésticos
modelo lineal

Aplicaciones

AC - mayormente de interés académico

EP - estaciones de prueba, pruebas diseñadas, pruebas con datos de campo

GE - cría y mejoramiento de poblaciones generales

PL - cría y mejoramiento de núcleos o planteles

estandarización de registros fenotípicos [**EP, PL**]

ajuste de registros fenotípicos [**EP, PL**]

interpretación de registros fenotípicos [**GE**]

formulación de modelos lineales para derivación de factores de corrección [**EP, PL**]

formulación de modelos lineales para evaluación del mérito genético [**EP, PL**]

ESTANDARIZACIÓN Y AJUSTE DE REGISTROS FENOTÍPICOS

El modelo más elemental para un registro fenotípico (P) es (Capítulo xx?):

$$P = G + E$$

Como se vio anteriormente, los componentes genético (G) y ambiental (E) pueden partitionarse de acuerdo a fuentes de variación de origen identificable. Estas fuentes de variación pueden simbolizarse:

$$P = A + D + I + E_p + E_t + E_m$$

donde A indica genotipo aditivo, D efectos de dominancia, I efectos de interacción epistática, E_p efectos ambientales permanentes y E_t efectos ambientales temporales, mientras que E_m representa variabilidad asociada a la medición de la característica.

Para poder seleccionar un grupo de individuos como futuros reproductores, primero debe lograrse un ordenamiento en base a mérito genético aditivo estimado a través del fenotipo.

Cuanto menor sea la participación de los cinco últimos componentes de la expresión anterior (D, I, E_p , E_t y E_m), mayor será la correspondencia entre el fenotipo y el mérito genético aditivo y mayor será, por ende, la heredabilidad. La Figura 1 ilustra simbólicamente la correspondencia de ordenamientos entre P y A para diferentes niveles de heredabilidad.

Dado que los componentes D e I no pueden reducirse (i.e. su participación en la variabilidad tiene que ver con la estructura genética que no es, en principio, modificable), la única forma práctica de incrementar la correspondencia entre P y A supone disminuir la contribución de los restantes 3 componentes (E_p , E_t y E_m).

Típicas contribuciones a esos componentes son, por ejemplo: el tipo de nacimiento de un cordero (E_p), el año en que se registró la lactancia de una vaca (E_t), la edad al destete de un ternero (E_m). Reducir esos componentes contribuye a aumentar la heredabilidad. En el primer caso se sabe que el tipo de nacimiento afecta en forma permanente caracteres tales como el peso al destete de los corderos. El año en que

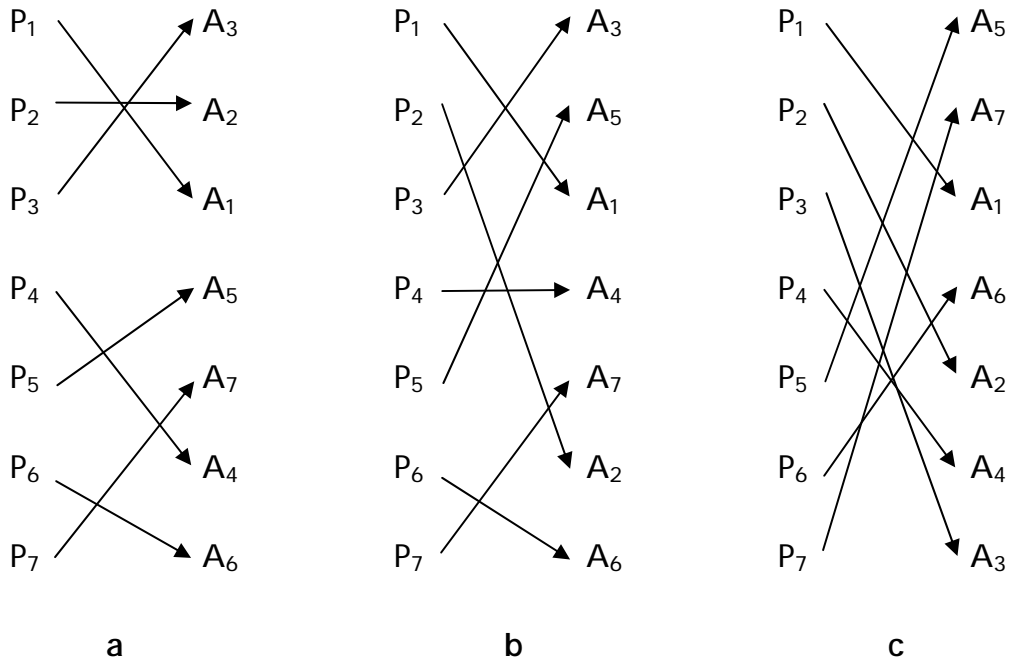


Figura 1. Ejemplo de correspondencia entre fenotipo (P) y genotipo aditivo (A) para un grupo de 7 individuos en condiciones de heredabilidad moderada (a), baja (b) o muy baja (c).

se produce la lactancia de una vaca puede influir sobre varios aspectos relacionados a su producción de leche (e.g. disponibilidad de forraje, condiciones sanitarias, etc.) y por lo tanto afectar los registros de lactancia. Nótese que, a diferencia del caso anterior, efectos tales como el año en que se produce un registro no son 'repetibles' en el sentido que lo es el efecto de la edad de la madre o el tipo de nacimiento.

El tercer caso contempla variación sistemática introducida por falta de uniformidad o variabilidad en la forma en que se obtienen los registros. El caso del peso al destete es ilustrativo. Las pariciones ocurren con cierta dispersión típica en un intervalo de semanas a meses, mientras que los destetes se practican usualmente a fecha fija. Ello determina que dentro del grupo de animales destetados en una fecha, existan marcadas diferencias de edad que, obviamente, determinarán diferencias en caracteres tales como el peso al destete. Esas diferencias no obedecen a efectos genéticos ni ambientales sino a errores introducidos por las condiciones de manejo. Comentarios similares pueden hacerse de otros caracteres tales como la producción de leche por lactancia (variable de acuerdo a la duración de las lactancias) o el espesor de grasa dorsal en cerdos (influido por la edad y el peso de los individuos). Los registros fenotípicos requieren, casi invariablemente, de un procedimiento de *estandarización* que atenua (aunque usualmente no elimina) efectos de este tipo, asociados a su falta de uniformidad.

Existen dos formas complementarias de reducir las contribuciones asociadas a E_p , E_t y E_m . En primer lugar, es posible reducir variabilidad por modificación del ambiente (E_p y E_t) al eliminar o atenuar posibles fuentes de variación, y/o uniformar la toma de datos (E_m). Sin embargo, esta alternativa no es válida para cualquier efecto y puede resultar muy costosa o impracticable. La opción complementaria consiste en estandarizar la información (E_m) y luego aplicar correcciones de tipo estadístico. Estas correcciones, a su vez, pueden aplicarse de dos formas generales: mediante el uso de factores de ajuste o incorporando en el modelo lineal utilizado para evaluar mérito genético aditivo aquéllos factores cuyos efectos se desean corregir. En este capítulo se describe la derivación y aplicación de factores de ajuste; la evaluación del mérito genético aditivo mediante modelos lineales se trata en el Capítulo XX.

Estandarización

Casi inevitablemente, el primer paso en el análisis de registros de campo consiste en aplicar estandarizaciones a la información original. Ello ocurre, por ejemplo, cuando la expresión del carácter toma un determinado tiempo que resulta variable entre individuos y la evaluación de la característica se realiza en relación a una base temporal común (e.g. peso de destete en vacunos a los 205 días de edad, producción de leche durante una lactancia de 305 días, etc). También se aplican estandarizaciones cuando la expresión del carácter varía en respuesta a (o en asociación con) otra característica y se lo evalúa en relación a una base común para esa característica (e.g. espesor de grasa dorsal al peso deseado en cerdos).

Aunque existen diversas alternativas de cálculo (e.g. Eijke y Johnson 1985, Woodward et al. 1989.), las estandarizaciones implican, por lo general, interpolaciones y extrapolaciones, usualmente lineales. En el Apéndice I se ofrecen ejemplos de aplicación en vacunos y cerdos.

Factores de ajuste

Cuando la expresión de un carácter es influida por factores no genéticos cuyos efectos pueden considerarse repetibles en el tiempo (e.g. edad del candidato, edad de su madre, sexo) es posible derivar factores de ajuste que pueden utilizarse para corregir futuros registros.

La metodología estadística habitual consiste en obtener estimaciones de los efectos de interés a partir de modelos de análisis de varianza de tipo I I (a efectos fijos). Considérese la información de la Tabla 1, referente al peso al destete de terneros hijos de madres de diferente edad, nacidos y criados bajo 3 manejos diferentes determinados fundamentalmente por el nivel de suplementación. Nótese que la cantidad de información difiere entre celdas pero no existen celdas sin información. Para este tipo de datos, podrían plantearse al menos dos modelos estadísticos distintos, según se incluya o no una posible interacción entre edad de la madre y nivel de manejo. Si se detectara una interacción significativa entre esos efectos principales, ello indicaría que el efecto de la edad de la madre habría sido diferente para distintos manejos y, por ende, carecería de sentido derivar factores de corrección generales. El análisis que sigue supone que en un test previo no se detectó interacción y, en consecuencia, se justifica la utilización de un modelo reducido que no contiene término de interacción:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde y_{ijk} indica el peso al destete estandarizado del k ésimo individuo, hijo de una vaca del i ésimo grupo de edad, nacido y criado bajo el j ésimo manejo, μ es una media general común a todos los registros, α_i representa el efecto de la i ésima edad de madre ($i = 1, \dots, 4$), β_j representa el efecto del j ésimo manejo ($j = 1, 2, 3$), y ε_{ijk} es un término aleatorio que representa variación no explicada por los otros factores en el modelo. Como se trata de un modelo a efectos fijos:

$$E(y_{ijk}) = \mu + \alpha_i + \beta_j$$

y se asume (como es habitual al aplicar mínimos cuadrados ordinarios) homogeneidad de varianza y no asociación de a pares entre los términos de error:

$$V(\varepsilon) = I \sigma^2$$

donde V indica matriz de varianzas y covarianzas, I es una matriz identidad de orden apropiado y σ^2 es la varianza de la información.

Tabla 1. Pesos al destete (kg estandarizados a 205 días de edad) de terneros hijos de madres de 2 a 8 años, nacidos y criados bajo 3 manejos diferentes

Manejo	Edad de la madre (años)				Suma/ Media
	2	3	4-7	8 +	
1	176 171	177 170	174 195	155 185	
	170 182	176 186	191 178	191 188	
	185 174	189 179	169 168	172	
	168 175		181 178		
	186 183		194 175		
			189 186		
Suma	1770	1077	2178	891	5916
Media	177	179,5	181,5	178,2	179,3
2	210 176	182 198	180 183	187 199	
	182 175	176 195	208 209	176 185	
	190	197 192	191 200		
		173 188	182 200		
		181 203	183 173		
		185	195 172		
			178 192		
			190		
Suma	933	2070	2836	747	6586
Media	186,6	188,2	189,1	186,8	188,2
3	215 190	198 215	214 198	198 205	
	193 182	207 202	193 217	207 196	
	199 202	202 196	204 207	188 209	
	200 207	193 220	205 189		
		179 200	204 204		
			209 202		
			214 190		
			175 198		
			218 205		
Suma	1588	2012	3646	1203	8449
Media	198,5	201,2	202,6	200,5	201,2
Suma total	4291	5159	8660	2841	20951
Media general	186,6	191,1	192,4	189,4	190,5

Para la información de la Tabla 1, las ecuaciones de mínimos cuadrados a resolver serán:

$$X'X\hat{\beta} = X'y$$

$$\begin{bmatrix} 110 & 23 & 27 & 45 & 15 & 33 & 35 & 42 \\ 23 & 23 & 0 & 0 & 0 & 10 & 5 & 8 \\ 27 & 0 & 27 & 0 & 0 & 6 & 11 & 10 \\ 45 & 0 & 0 & 45 & 0 & 12 & 15 & 18 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 15 & 5 & 4 & 6 \\ 33 & 10 & 6 & 12 & 5 & 33 & 0 & 0 \\ 35 & 5 & 11 & 15 & 4 & 0 & 35 & 0 \\ 42 & 8 & 10 & 18 & 6 & 0 & 0 & 42 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\mu} \\ \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_2 \\ \hat{\alpha}_3 \\ \hat{\alpha}_4 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20951 \\ 4291 \\ 5159 \\ 8660 \\ 2841 \\ 5916 \\ 6586 \\ 8449 \end{bmatrix}$$

El orden de la matrix $X'X$ es 8, pero su rango es igual a 6. Una de las formas posibles de eliminar las 2 dependencias lineales y solucionar el sistema requiere imponer 2 restricciones a las soluciones. Asímbase que para ello se igualan a cero la media general y el efecto del primer manejo:

$$\hat{\mu} = 0 \quad \text{y} \quad \hat{\beta}_1 = 0$$

Para estas restricciones, el vector de soluciones será:

$$\underline{\hat{\beta}}^\circ = \begin{bmatrix} \hat{\mu} \\ \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_2 \\ \hat{\alpha}_3 \\ \hat{\alpha}_4 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 177,3 \\ 179,7 \\ 181,0 \\ 178,6 \\ 0 \\ 8,4 \\ 21,5 \end{bmatrix}$$

Nótese que las estimaciones de los efectos de edad de madre, contienen a la media general (ya fue ésta una de las soluciones que se igualó a cero) y están centradas alrededor del efecto del manejo 1 (la otra solución que se igualó a cero):

$$E(\hat{\alpha}_i) = \mu + \beta_1 + \alpha_i$$

Por diferencia entre los efectos estimados en el modelo, se obtienen las estimaciones de interés (efectos de edad de madre). Si se elige como base de comparación a las vaquillonas:

$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_3 - \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_4 - \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu + \beta_1 + \alpha_1 - \mu - \beta_1 - \alpha_1 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_2 - \mu - \beta_1 - \alpha_1 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_3 - \mu - \beta_1 - \alpha_1 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_4 - \mu - \beta_1 - \alpha_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 177,3 - 177,3 \\ 179,7 - 177,3 \\ 181,0 - 177,3 \\ 178,6 - 177,3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,4 \\ 3,7 \\ 1,3 \end{bmatrix}$$

Si se eligiera como base a las vacas adultas:

$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_3 \\ \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_3 \\ \hat{\alpha}_3 - \hat{\alpha}_3 \\ \hat{\alpha}_4 - \hat{\alpha}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu + \beta_1 + \alpha_1 - \mu - \beta_1 - \alpha_3 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_2 - \mu - \beta_1 - \alpha_3 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_3 - \mu - \beta_1 - \alpha_3 \\ \mu + \beta_1 + \alpha_4 - \mu - \beta_1 - \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 177,3 - 181,0 \\ 179,7 - 181,0 \\ 181,0 - 181,0 \\ 178,6 - 181,0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,7 \\ -1,3 \\ 0 \\ -2,4 \end{bmatrix}$$

La base de ajuste elegida es irrelevante (aunque suele elegirse la categoría de vacas adultas) pero es deseable que sea la misma para cada tipo de producción para facilitar comparaciones.

A título de ejemplo para el caso considerado, al peso de destete de un ternero hijo de vaquillona se le deberían sumar 3,7 kg para ajustar el registro a un equivalente de hijo de madre adulta. Este tipo de ajuste se conoce como *aditivo* ya que se basa en sumas o restas de constantes. Un supuesto implícito en su aplicación es que los factores de ajuste resultan adecuados independientemente del valor medio de la característica. Este supuesto puede no ser realista cuando, por efecto de otros factores (año, establecimiento, nivel de manejo), las diferencias por las que se ajustó (e.g. edad de madre) resultan amplificadas o comprimidas. En ese caso un ajuste de tipo proporcional o *multiplicativo* resultaría más razonable.

Los factores de ajuste multiplicativos se derivan en relación al valor medio de la categoría o nivel utilizado como base. Las estimaciones más robustas se obtendrán seleccionando como base la categoría más numerosa; en el ejemplo desarrollado esa es la categoría de vacas adultas:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1^M \\ \alpha_2^M \\ \alpha_3^M \\ \alpha_4^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 192,4 / (192,4 - 3,7) \\ 192,4 / (192,4 - 1,3) \\ 192,4 / (192,4 - 0) \\ 192,4 / (192,4 - 2,4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,020 \\ 1,007 \\ 1 \\ 1,013 \end{bmatrix}$$

La derivación de factores de ajuste es una tarea de rutina en programas de selección. La acumulación de registros a través del tiempo ofrece oportunidades de obtener cada vez mejores estimaciones. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la magnitud de cualquier efecto puede variar en el tiempo por lo que resulta aconsejable probar estadísticamente la adecuación de los factores de ajuste. Esto se hace analizando los registros ajustados con el mismo modelo estadístico que se utilizó para derivarlos. Si el factor de ajuste no resulta significativo, y las diferencias entre medias ajustadas y no ajustadas son aproximadamente iguales a cero, entonces puede asumirse que los factores de ajuste son apropiados.

En el Apéndice I se ofrecen ejemplos de factores de ajuste en uso corriente para vacunos lecheros y carniceros, ovinos y cerdos.

Bibliografía

- Basarab, J.A., Shrestha, J.N.B. y Parker, R.J. 1987. Effects of birth type, age of dam, entry weight and prestation gain on test station results of ram lambs. *Can J. Anim. Sci.* 67: 371-379.
- Charlick, A.J. y Arnold, G.W. 1990. Effect of bearing and rearing lambs on Merino wool production. *Aust. J. Exp. Agric.* 30: 591-594.
- Eijke, E.D. y Johnson, D.L. 1985. Adjustment factors for lamb weaning weight. 3. Comparison of adjustment methods. *New Zeal. J. Agric. Res.* 28: 265-273.
- Jury, K.E., Johnson, D.L. y Clarke, J.N. 1979. Adjustment factors for lamb weaning weight. 1. Estimates from commercial floks. *New Zeal. J. Agric. Res.* 22: 385-389.
- Lewer, R.P., Rae, A.L. y Wickham, G.A. 1983. Analysis of records of a Perendale flock. III. Estimates of environmental effects on productive traits of mature ewes.
- Rossi, D.J., Kress, D.D., Tess, M.W. y Burfening, P.J. 1992. Correcting bias from the standard linear adjustment of weaning weight to an age-constant basis for beef calves. *J. Anim. Sci.* 70: 1333-1341.
- Woodward, B.W., Pollak, E.J. y Quaas, R.L. 1989. Adjusting weaning weights of Simmental beef calves to an age-constant basis. *J. Anim. Sci.* 67: 20-27.

Apéndice I**VACUNOS PARA CARNE**

Aconsejados por Beef Improvement Federation (USA). Guidelines for uniform beef improvement programs.

Peso al nacimiento (PN) - Ajuste por sexo

Multiplique el peso de las hembras por 1.07 para ajustar a base machos.

Peso al nacimiento - Ajuste por edad de la madre

EDAD DE LA MADRE	AJUSTE ADITIVO (kg)
2	+ 4
3	+ 2.5
4	+ 1
5 - 10	+ 0
11+	+ 1.5

Peso al destete (PD) - Ajuste a 205 días de edad

$$P_{205} = \frac{PD - PN}{\text{Edad en días}} \times 205 + PN$$

Si no se dispone de datos de peso al nacimiento se lo suprime en la fórmula anterior.

Peso al destete - Ajuste por edad de la madre (Sumar al P₂₀₅)

EDAD DE LA MADRE	AJUSTE ADITIVO	
	MACHOS	HEMBRAS
2	+30	+27
3	+20	+18
4	+10	+ 9
5 - 10	+ 0	+ 0
11+	+10	+ 9

$$P_{205EM} = P_{205} + \text{ajuste por edad de madre}$$

Pesos posteriores al destete - Ajuste a ddd días de edad

$$P_{dddEM} = \frac{\text{Peso} - PD}{\text{Días entre pesadas}} \times (ddd - 205) + P_{205EM}$$

VACUNOS LECHEROS

Aconsejados por el USDA-DHI A. Factors for standardizing 305-day lactation records.

Ajuste por edad y mes de parto (Ejemplo: para lactancias de vacas Holstein estandarizadas a 305 días en Oklahoma, USA)

EDAD (meses)	FEB	MAY	AGO	NOV
18	1.40	1.44	1.52	1.42
24	1.22	1.25	1.32	1.23
36	1.11	1.13	1.21	1.12
48	1.02	1.05	1.13	1.04
60	0.98	1.01	1.09	1.00
72	0.96	1.00	1.08	0.98

OVINOS

Aconsejados por Sheep Industry Development, Inc., USA. The Sheepman's production handbook.

Ajuste de peso al destete por sexo, tipo de nacimiento, tipo de crianza y edad de la madre

SEXO	EDAD MADRE	TIPO DE NACIMIENTO-CRIANZA					
		1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
Machos enteros	1	1.02	1.15	1.21	1.23	1.31	1.53
	2 o 7+	.98	1.08	1.17	1.16	1.25	1.38
	3 a 6	.91	1.00	1.08	1.07	1.15	1.23
Machos castrados	1	1.10	1.25	1.33	1.36	1.45	1.72
	2 o 7 +	1.05	1.16	1.26	1.25	1.35	1.50
	3 a 6	.98	1.08	1.16	1.15	1.24	1.33
Hembras	1	1.13	1.29	1.38	1.40	1.51	1.80
	2 o 7 +	1.08	1.19	1.29	1.28	1.38	1.54
	3 a 6	1.00	1.10	1.19	1.18	1.27	1.36

Ejemplo: Para encontrar el peso ajustado a 90 días de una cordera nacida y criada melliza, hija de una oveja de 2 años, que pesó 3.4 kg al nacimiento y 19 kg al ser destetada a los 100 días de edad se realizan los siguientes cálculos.

$$P_{90} = [(19 - 3.4)/100] \times 90 + 3.4 = 17.44$$

$$P_{90} \text{ ajustado} = 17.44 \times 1.29 = 22.50 \text{ kg}$$

CERDOS

Aconsejados por la National Swine Improvement Federation, USA. Guidelines for uniform improvement programs.

Días (D) hasta peso deseado (P_x) expresado en libras

$$D_{P_x} = \frac{(P_x - \text{Peso}) \times (\text{Edad} - 38)}{\text{Peso}} + \text{Edad}$$

Espesor de grasa dorsal (EGD) al peso deseado (P_x) expresado en libras

$$EGD_{P_x} = \frac{(P_x - \text{Peso}) \times \text{EGD}}{\text{Peso} - 25} + \text{EGD}$$

Area de ojo de bife (AOB) al peso deseado (P_x) expresado en libras

$$AOB_{P_x} = (P_x - \text{Peso}) \times \frac{\text{AOB}}{\text{Peso} + 155} + \text{AOB}$$

Ajuste de peso de la camada a los 21 días por edad de la cerda (meses)

$$\text{Peso ajustado} = b \times (\text{peso real})$$

EDAD (meses)	b	EDAD (meses)	b	EDAD (meses)	b
14	1.30	19	1.07	24	.91
15	1.25	20	1.03	25	.88
16	1.20	21	1.00	26	.86
17	1.15	22	.97	27	.84
18	1.11	23	.94	28	.82