

ARTICULO ORIGINAL

Relación de la fructosamina (fram) con la glucosa (glu) sérica en vicugna pacos (alpaca) para la comprensión de la hiperglicemia mediante un modelo estadístico

Milthon Honorio Muñoz Berrocal¹   | Víctor Simón Pacheco Sanchez²  

1. Doctor en Producción Animal, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. Afiliado a la Universidad Departamental Paulista "Julio de Mesquita Filho".
2. Maestro en Ciencias de la Educación con mención en Investigación y Docencia, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú

Palabras clave:

Alpaca, Fructosamina, glucemia, hiperglicemia, inducida por estrés

RESUMEN

Las alpacas pueden presentar hiperglicemia por menor respuesta y resistencia moderada a la insulina, similar a una condición diabética; la eliminación de glucosa es más lenta. La presente investigación cuantitativa, relacional tuvo como objetivo correlacionar glucosa con la fructosamina, proteína glucosilada resultante de la unión irreversible, no enzimática, insulín dependiente de la glucosa a las proteínas. Se pretendió con ambos valores establecer su correlación y regresión para formular un modelo estadístico. Se desarrolló en campo, con recolección de muestras de sangre en Tisco a 4011 m.s.n.m. Castilla, Arequipa y en la Estación Experimental de La Raya 4211 m.s.n.m., Canchis, Cusco; su fase de laboratorio en la Clínica Diagnovet SAC. Arequipa. Trabajamos con 100 alpacas, analizando por espectrofotometría UV VIS, en un analizador automático SunnyMed SYSL20, kits de Fructosamina (FrAm), Glucosa (GLU). Encontrándose valores de FrAm 675,77 $\mu\text{mol/l}$ (+/-198,26 $\mu\text{mol/l}$) y para GLU 121,49 mg/dl (+/-16,12 mg/dl); presentando normalidad ambos analitos a Kolmogórov-Smirnov. La asociación se realizó mediante un Coeficiente de Correlación de Pearson y su correspondiente RLS para ajustar el modelo. Sus valores permitirán en la clínica un buen manejo de soluciones glucosadas. Se concluye que existe una fuerte correlación lineal positiva (r) entre GLU y FrAm $r = 0,76$ siendo muy significativas ($p < 0,0001$).

Relation of fructosamine (FrAm) with serum glucose (GLU) in Vicugna pacos (alpaca) for the understanding of hyperglycemia by means of a statistical model

Key words:

Alpaca, Fructosamine, glycemia, hyperglycemia, stress-induced

ABSTRACT

Alpacas may have hyperglycemia due to reduced response and moderate insulin resistance, similar to a diabetic condition; glucose elimination is slower. The present quantitative, relational research aimed to correlate glucose with fructosamine, a glycosylated protein resulting from the irreversible, non-enzymatic, insulin-dependent binding of glucose to proteins. It was intended with both values to establish their correlation and regression to formulate a statistical model. It was developed in the field, with blood sample collection in Tisco at 4011 m.a.s.l. Castilla, Arequipa and at the La Raya Experimental Station 4211 m.a.s.l., Canchis, Cusco; its laboratory phase at the Diagnosovet SAC Clinic. Arequipa. We worked with 100 alpacas, analyzing by UV VIS spectrophotometry, in an automatic analyzer SunnyMed SYSL20, Fructosamine kits (FrAm), Glucose (GLU). FrAm values were found to be 675.77 $\mu\text{mol/l}$ (+/-198.26 $\mu\text{mol/l}$) and for GLU 121.49 mg/dl (+/-16.12 mg/dl); both analytes presented normality to Kolmogorov-Smirnov. The association was performed using a Pearson Correlation Coefficient and its corresponding RLS to adjust the model. Their values will allow a good handling of glucose solutions in the clinic. It is concluded that there is a strong positive linear correlation (r) between GLU and FrAm $r = 0.76$ being very significant ($p < 0.0001$).

Citar como: Muñoz Berrocal, M. H., Pacheco Sánchez, V. S. Relación de la fructosamina (fram) con la glucosa (glu) sérica en vicugna pacos (alpaca) para la comprensión de la hiperglicemia mediante un modelo estadístico. Revista de Investigación y Amazonia. 2025, 15(20): 29–38.

INTRODUCCIÓN

Los camélidos sudamericanos (CSA) son una riqueza pecuaria y genética de las poblaciones andinas del Perú. La alpaca es, además, muy valorada por la calidad de su fibra. Perú posee el 87% de las alpacas a nivel mundial. La mayoría criadas y manejadas por miles de familias campesinas que forman parte de los sectores más pobres del país. Asimismo, es una especie clave, ecológica y socioeconómicamente, de gran valor para el poblador rural. Se han reportado estudios sobre parámetros bioquímicos, tanto en buena condición de salud como en enfermedad (Anderson., 2002); sin embargo, existe escasa información sobre la bioquímica sanguínea de la alpaca en diferentes etapas de su vida productiva, y la mayoría no exhibe el perfil hepático, renal, pancreático o cardíaco de aquellas criadas en sus hábitats naturales (Concha, 2009). Los trabajos existentes están mayormente relacionados a los valores normales de los componentes bioquímicos de los líquidos orgánicos de la alpaca. Trabajos realizados en Europa, Norteamérica y de la zona andina han empleado mayormente un reducido número de animales o fueron limitados a variables hematológicas o bioquímicas básicas (Concha, 2009; Fowler, 1989; Cebra et al., 2002). Se ha reportado que especies como la alpaca, según estudios (Cebra et al., 2001; Ommaya et al., 1995; Sakai et al., 1996), presenta valores de glicemia superiores a otras especies, 100 a 200 mg/dl. En varias enfermedades digestivas, pueden elevarse a 200 - 300 mg/dl. Dando lugar a diagnósticos equivocados de diabetes. En la alpaca recién nacida, el nivel de glucosa en plasma es de 121 mg/dl, mientras que en la alpaca adulta es 72 a 99 mg/dl (Cebra, 2000). No habiéndose encontrado hasta ahora una explicación científica razonable y fiable. Las alpacas pueden mostrar hiperglucemia por una menor respuesta y resistencia moderada de la insulina, algo semejante a una condición de diabética; por lo que la tasa de eliminación de GLU es más lenta que las de otros mamíferos (Stehman et al., 1997; Elmahdi et al., 1997). Los CSA tienen mayores concentraciones de GLU en sangre y menores concentraciones de cuerpos cetónicos (CC) en plasma que los rumiantes domésticos, una respuesta de insulina débil y lenta absorción celular de glucosa. Con una alimentación restringida reduce la eliminación de GLU, y los CSA enfermos pueden ser aún más intolerantes a la GLU. Mientras que los rumiantes con hígado graso y cetosis presentan hipoglucemia, los CSA son a menudo hiperglucémicos. Dando lugar, a que la administración de GLU debe ser vigilada minuciosamente en estos, especialmente en los anoréxicos (VanSaun, 2000)

La determinación de otro indicador de la glicemia como es el caso de la FrAm, y su asociación con la GLU sanguínea podría permitirnos entender mejor el comportamiento hiperglucémico de la especie, ya que el metabolismo de los carbohidratos juega un papel importante en la mayoría de las especies animales, y

contribuye a la regulación de su homeostasis. La FrAm, que es una medida de la glicación no enzimática de las proteínas circulantes, incluidas la albúmina, las globulinas y las lipoproteínas, ha evolucionado para ser una alternativa razonable a la HbA1c medición en situaciones en las que la HbA1c no es confiable (Gounden et al, 2025). Desde la década de 1980, como producto de la reacción de reordenamiento de Amadori entre glucosa y aminos biológicamente significativas como las proteínas, la FrAm ha experimentado un auge en la investigación biomédica, principalmente debido a su relevancia para las patologías de la diabetes y el envejecimiento (Mossine et al, 2023).

El objetivo del estudio fue determinar la asociación entre fructosamina y glucosa en alpacas.

METODOLOGÍA

Lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en su fase de campo, con la recolección de muestras de sangre en dos ubicaciones: en la localidad de Tisco y entre las coordenadas geográficas 15°20'51" latitud Sur y 71°26'46" longitud Oeste (UTMX 672146.2 UMTY 1120566 zona 42) y a 4011 m s. n. m. perteneciente a la provincia de Castilla, región de Arequipa. y en la Estación Experimental de la Raya (CIP La Raya) de la Universidad Nacional del Altiplano, entre las coordenadas geográficas 10°13'33" latitud Sur y a 70°57'12" longitud Oeste (UTMX 672146.2 UTM Y 1131029.3 Zona 42), a 4211 m.s.n.m., provincia de Canchis del departamento de Cusco. Clima variado, con temperaturas de 14.75 °C como máximo en los meses de octubre y noviembre, y una mínima de - 14,88 °C en los meses de junio y julio, con una temperatura media de 6,52 °C y una precipitación pluvial de 625 mm con alta evaporación promedio anual. La fase de laboratorio se realizó en las instalaciones del laboratorio particular de la Clínica Veterinaria Diagnovet SAC (Diagnósticos Clínicos Veterinarios) RUC 20558672081, Arequipa.

Animales y diseño experimental

Se trabajo con 100 alpacas de la raza Huacaya, de los cuales 50 eran machos y 50 hembras, de entre 2 y 3 años, destinadas a beneficio.

De la obtención de muestras

Se procedió a sujetar a los animales, y realizar la limpieza previa a la venopunción, obteniéndose muestras de sangre venosa de la vena yugular por venopunción con agujas de vacutainer Nro, 20 Vacutest® Italia. Se recolectaron en tubos estériles de vacutainer Vacutest® Italia, con gel separador y en tubo con heparina de litio, así como en tubo tapa ploma con fluoruro de sodio, posterior a esto se separó rápidamente el suero o el plasma de las células mediante centrifugación a 4000 rpm y con la

ayuda de una micropipeta y su tip a un criovial de 3 cc., los cuales se almacenaron en un ambiente frío (4 °C) y se transportaron lo más rápido posible a laboratorio.

Del transporte de las muestras

Los crioviales con suero y plasma y los tubos obtenidos se transportaron en una caja de transporte refrigerada a 4 °C hasta las instalaciones del laboratorio.

Determinación del valor de glucosa medida en el plasma de alpacas

Es una reacción punto final blanqueado (2 puntos). La oxidación de la glucosa a ácido glucónico es catalizada por la glucosa oxidasa produciendo también peróxido de hidrógeno, el cual reacciona con la 4 – aminoantipirina y el ácido p-hidroxibenzoico en presencia de la peroxidasa para dar lugar a un derivado quinónico cuya concentración es proporcional a la concentración de glucosa en la muestra. La concentración de glucosa se midió en mg/dl (unidad SI). Se separó el plasma por centrifugación a 4000 rpm, de los tubos tapa verde con heparina de litio, con la ayuda de una micropipeta con tips de 1000 µl y se almacenaron las muestras en un ambiente frío (4 °C) en crioviales. Se realizó la medición de glucosa mediante espectrofotometría UV Visible en un espectrofotómetro automático Sunnymed® SY SL120 a 505 nm.

Determinación del valor de fructosamina medida en suero de alpacas.

La reacción es de Tasa A cinética, en condiciones alcalinas, las cetoaminas se reorganizan en la forma de enaminol, lo que reduce el compuesto químico nitroblue tetrazolio, en una reacción de un solo paso, a formazan. Se recomienda un período de preincubación de diez minutos para evitar los efectos de interferencia de las sustancias reductoras inespecíficas de reacción rápida. La formación de formazano se cuantifica a partir de un cambio de absorbancia a lo largo del tiempo (Ambruster, 1987; Baker, 1985; Scheicher, 1990). La concentración en

suero se mide en µmol/l (unidad SI). Se usó suero, el cual se separó del coágulo dentro de las 4 horas posteriores a la recolección, con la ayuda de una micropipeta con tips de 1000 µl y se almacenaron las muestras en un ambiente frío (4 °C) en crioviales. Se realizó la medición mediante espectrofotometría UV Visible en un espectrofotómetro automático Sunnymed® SY SL120 a 530 nm.

Relación de los valores de glucosa obtenidos con los valores de fructosamina en alpacas.

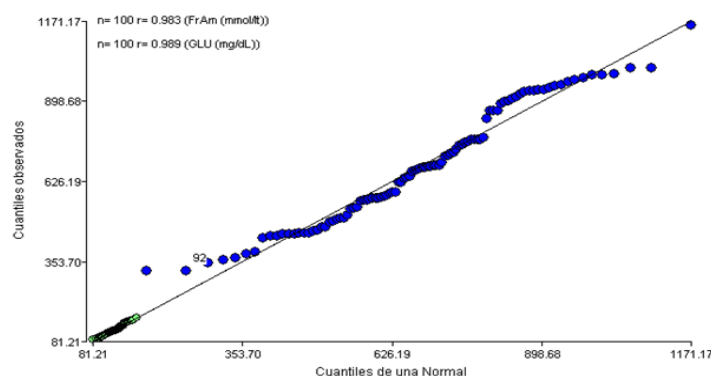
Se empleó un estadístico de correlación mediante el Coeficiente de Pearson. Los datos se procesaron con el Software Infostat ®Versión 2020. **Análisis estadístico**

La data obtenida se analizó mediante estadística descriptiva para las variables, describiendo su comportamiento, intervalos de confianza para evaluar los desvíos alcanzados y su distribución usando las medidas de centralización: media, moda, mediana y las medidas de dispersión: coeficiente de variación, varianza, error estándar, asimetría y curtosis. Ya que en otras especies de mamíferos la GLU y la FrAm presentan distribuciones normales, se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov, y gráficamente mediante QQ-Plots; se realizó la correlación matemática mediante un Pearson. Mediante los procedimientos de correlación y regresión lineal simple (RLS). Se determinó el mejor modelo predictor a través de los estadígrafos R², AIC y BIC y Cp Mallow y VIF. Los resultados se presentarán para su posterior análisis y discusión en tablas y gráficos correspondientes y se discutirán frente al estado del arte y ciencia pertinente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera gráfica en la Figura 1, determinamos la normalidad de los datos mediante el QQ-Plot de la Figura 1, para FrAm y GLU, el valor de “r” es mayor a 0,95, (FrAm = 0.983; GLU = 0,989). De manera estadística mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov, obtuvimos un $p > 0,05$ (0,2919).

Figura 1. QQ-Plot de los valores de FrAm y GLU en plasma de las alpacas estudiadas.



De acuerdo con la Tabla 1, podemos interpretar que la media para FrAm fue de 675.77 $\mu\text{mol/l}$ $\pm$ 198.26 $\mu\text{mol/l}$, un EE de tan solo 19.83 $\mu\text{mol/l}$ y un CV de 29.34%.

Tabla 1. Resumen de los valores de FrAm y GLU en plasma de las alpacas estudiadas.

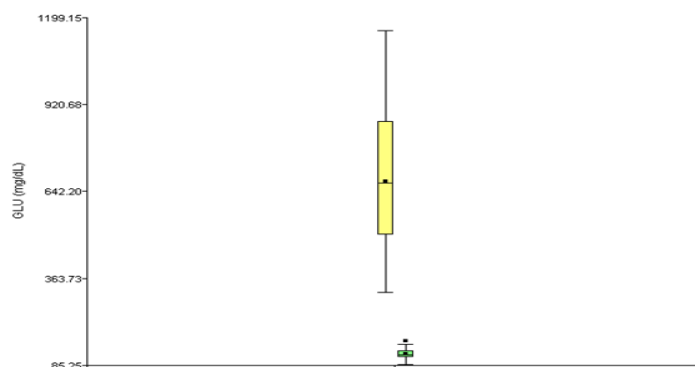
Resumen	FrAm ($\mu\text{mol/l}$)	GLU (mg/dl)
N	100	100
Media	675,67	121,49
DE	198,31	16,12
Var (n-1)	39328,10	259,87
EE	19,83	1,61
CV	29,35	13,27
Vmax	320,20	89,00
Vmin	1157,30	164,00
Mediana	669,50	118,50
Q1	502,30	112,00
Q3	866,10	132,00
Asimetria	0,22	0,35
Kurtosis	-0,94	-0,30

FrAm: Fructosamina($\mu\text{mol/l}$); GLU: Glucosa(mg/dl)

En el diagrama de caja y bigotes, de la Figura 2, la FrAm con un CV de 29.34%, que indica poca variabilidad, que se manifiesta por la longitud de los bigotes, con un valor mínimo de 320.20 $\mu\text{mol/l}$ y un máximo de 1157.30 mmol/l, una mediana muy cercana a la media de 669.50 $\mu\text{mol/l}$ versus 675.77 $\mu\text{mol/l}$. indicando la poca dispersión. Para la GLU con

un CV de 13.27%, que indica poca variabilidad, que se manifiesta por la longitud de los bigotes, con un valor mínimo de 89.00 mg/dl y un máximo de 164.00 mg/dl, una mediana muy cercana a la media de 121.49 mg/dl versus 128.50 mg/dl. indicando la poca dispersión.

Figura 2. Blox Plot de los valores de FrAm en suero de alpacas .



Para FrAm, se establecieron 6 clases (Tabla 2 y Figuras 3 y 4). de acuerdo con la regla de Sturges, el número de muestras fueron 100, para el caso de FrAm, la mayor frecuencia se dio entre el intervalo de 459.72 $\mu\text{mol/l}$ y 599.23 $\mu\text{mol/l}$, con 24 muestras y una marca de clase de 529.48 $\mu\text{mol/l}$ y la menor frecuencia entre el intervalo 1017.78 $\mu\text{mol/l}$ y 1157.30 $\mu\text{mol/l}$ con 1 muestra y una marca de clase de 1087.54 $\mu\text{mol/l}$, podemos observar el ajuste de la curva normal. Podemos apreciar el comportamiento de la variable con frecuencias altas distribuidas hacia la derecha, son sesgo positivo, siendo el promedio mayor que la mediana. Podemos ver la tendencia central del proceso, con poca variabilidad; descentrado; el

proceso se comparta cercano a una distribución normal, con calidad buena. Para la GLU se establecieron 6 clases de acuerdo con la regla de Sturges, la mayor frecuencia se dio entre el intervalo de 114.00 mg/dl y 126.50 mg/dl, con 36 muestras y una marca de clase de 120.25 mg/dl y la menor frecuencia entre el intervalo 151.50 mg/dl y 164.00 mg/dl con 3 muestra y una marca de clase de 157.75 mg/dl, podemos observar el ajuste de la curva normal, pudiendo apreciar el comportamiento de la variable con frecuencias altas distribuidas ligeramente hacia la derecha, con sesgo positivo, siendo el promedio mayor que la mediana. Podemos ver la tendencia central del proceso, es con poca variabilidad y a la

derecha; ligeramente descentrado; con muy poca variabilidad comportándose cercano a una distribución normal, con buena calidad.

Debemos recordad que la GLU en camellos varía de acuerdo con la edad (Lamraroui et al, 2022).

Tabla 2. Distribución de frecuencias de los valores de FrAm y GLU en plasma de las alpacas estudiadas.

Variable	Clase	MC	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
FrAm (μmol/l)	1	320.20	459.72	389.96	18	0,18	18	0,18
FrAm (μmol/l)	2	459.72	599.23	529.48	24	0,24	42	0,42
FrAm (μmol/l)	3	599.23	738.75	668.99	22	0,22	64	0,64
FrAm (μmol/l)	4	738.75	878.27	808.51	13	0,13	77	0,77
FrAm (μmol/l)	5	878.27	1017.78	948.03	22	0,22	99	0,99
FrAm (μmol/l)	6	1017.78	1157.30	1087.54	1	0,01	100	1.00
Variable	Clase	MC	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
GLU (mg/dl)	1	89.00	101.50	95.25	10	0,10	10	0,10
GLU (mg/dl)	2	101.50	114.00	107.75	23	0,23	33	0,33
GLU (mg/dl)	3	114.00	126.50	120.25	36	0,36	69	0,69
GLU (mg/dl)	4	126.50	139.00	132.75	15	0,15	84	0,84
GLU (mg/dl)	5	139.00	151.50	145.25	13	0,13	97	0,97
GLU (mg/dl)	6	151.50	1157.30	157.75	3	0,03	100	1.00

FrAm: Fructosamina(μmol/l); GLU: Glucosa(mg/dl)

Figura 3. Histograma de los valores de FrAm en plasma de las alpacas estudiadas.

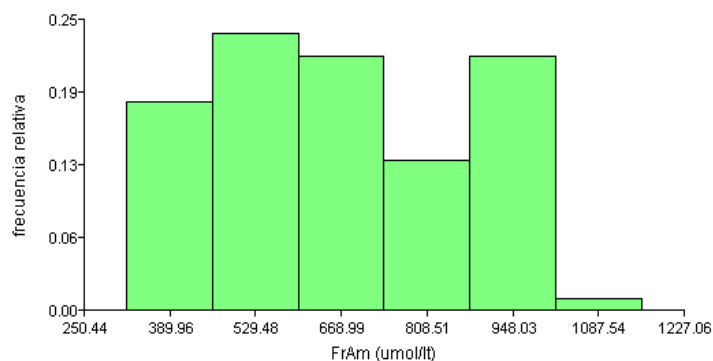
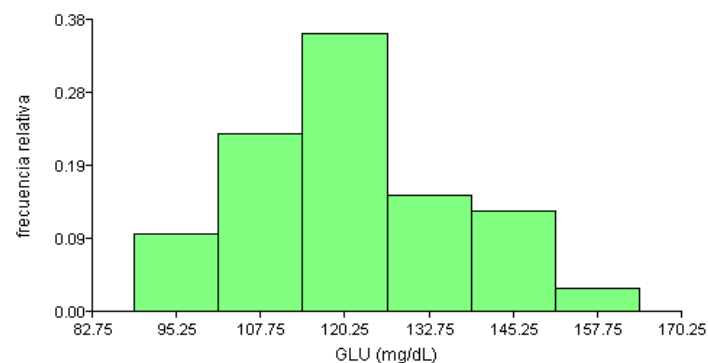
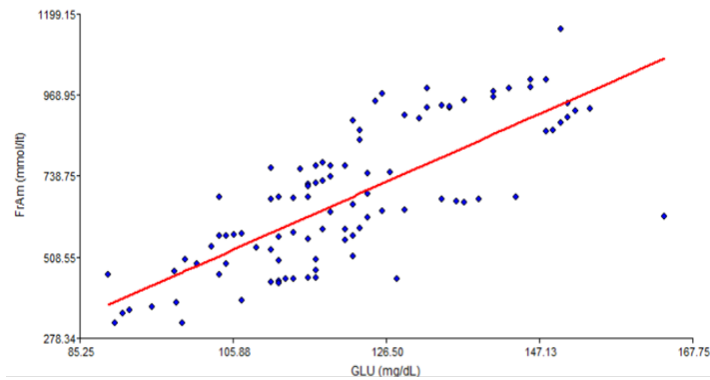


Figura 4. Histograma de los valores de GLU en plasma de las alpacas estudiadas.



Al asociar mediante el r de Pearson, obtuvimos un valor de 0.76, lo que nos indica que existe una

entre los valores de GLU y FrAm de tipo fuerte y altamente significativo.

Figura 5. Dispersograma de correlación de Pearson de los valores de FrAm con los de GLU en plasma de alpacas.**Tabla 3.** Regresión lineal simple (RLS) de FrAm/GLU en plasma de alpacas.

Variable	N	R²	R² Aj	ECMP	AIC	BIC			
FrAm (μmol/l)	100	0.58	0.57	17621.98	1260.41	1268.22			
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados									
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF	
const	-460.88	98.89	-657.12	-264.63	-4.66	<0.0001			
GLU (mg/dl)	9.36	0.81	7.75	10.96	11.59	<0.0001	134.39		1
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)									
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor				
Modelo	2251597	1	2251596.77	134.39	<0.0001				
GLU (mg/dl)	2251597	1	2251596.77	134.39	<0.0001				
Error	1641885	98	16753.93						
Total	3893481	99							

Observamos que en la RLS correspondiente, el R² o coeficiente de determinación es de 0.58, indicándonos que el 58% de los valores FrAm son explicados por los de la GLU. Para los coeficientes de regresión y los estadísticos asociados el valor estimado de la ordenada es negativo -460.88 y el valor estimado de la pendiente es positivo de 9.36.

Los p valor de ambos estimadores son $p < 0.001$, por lo que ambos estimadores pueden permanecer en el modelo. Coincidimos con el valor de r de Pearson señalando que existe asociación lineal. El VIF o valor de inflación de la varianza indica que no hay multicolinealidad.

El error estándar para la ordenada es 98.89 y para la pendiente es 0.81, los intervalos de confianza para la pendiente son 7.75 y 10.96, mientras que para la ordenada son -657.12 y -264.63, el T valor es negativo para la ordenada señalando que el coeficiente es diferente de cero y existe una relación lineal y positivo para la pendiente, indicando en esta última significancia estadística. El $p < 0.05$ para el modelo, el cual se acepta, indicando que la pendiente y ordenada no son nulas. En el Análisis de la varianza para regresión en el cual se emplea un

estadístico con distribución de F de Snedecor para determinar si hay asociación lineal o no, por lo cual en la presente investigación existe una asociación entre los valores de GLU y FrAm. El p valor para el modelo y la GLU presentan un $p < 0,005$ manifestando un p valido para señalar que el modelo es válido globalmente para hacer una predicción.

En la presente RLS, al evaluar el AIC 1260.41, el BIC 1268.22 del modelo simple, versus el modelo nulo AIC 1278,43 y el BIC 1283.64, podemos mencionar que el modelo simple tiene menores valores, por lo tanto, el presente modelo es mejor con la variable GLU y aporta información para justificar. De acuerdo con el Cp Mallow sin embargo señala que el modelo esta sesgado, pero al querer nosotros buscar explicación y no predicción nos ayudaría mejor el valor del BIC.

Los valores de ambos estimadores son altamente significativos ($p < 0.001$) y la variable GLU también tiene alta significancia en el modelo ($p < 0.001$) lo que no señala que es clínicamente importante. Ya que se debe cuidar la administración parenteral de soluciones glucosadas en la práctica.

No existen en la literatura científica actual muchos

reportes de valores de FrAm en CSA ni del viejo mundo y menos aun específicamente en alpacas. Los valores presentan variabilidad, esto probablemente podría deberse a que pueda haber existido fallas en el recojo de muestras, el uso de tubos especiales con fluoruro de sodio que inhibe la glicolisis y que si no lo hace podría variar mucho en los resultados obtenidos, así como la temporalidad del estudio, la alimentación, la presencia de diferentes carbohidratos en la ingesta, finalmente el método usado y la maquinaria analítica empleada.

Al evaluar la nutrición, el metabolismo, condiciones fisiológicas y patológicas, sangre, perfil metabólico como glucosa en sangre, insulina. Esta hiperglucemia fisiológica en alpacas también se debe a la mala respuesta de la insulina y la baja concentración de insulina en el suero (Cebra, 2000; Cebra et al., 2001)

En cabras, se encontró valores en un rango entre 104,09 y 207,88 $\mu\text{mol/l}$ (Bezerra, 2023). Comparar directamente un animal no rumiante como la alpaca con carnívoros como son el perro y el gato, no es muy relacionado, sin embargo, al compararlo con ruminantes como los caprinos, vemos que sus valores son mayores para las alpacas. Esto probablemente se podría deber a los reportes que señalan la hiperglucemia específica de los CSA (Cebra, 2000). Varios informes recomiendan el uso de FrAm, como parte del perfil metabólico en vacas lecheras, ovejas y yeguas (Filipovic et al., 2010; Sorondo y Cirio 2009; Sorondo y Cirio, 2010; Filipovic et al., 2011). Los valores, responden a la glicación de todas las proteínas en suero y ya que la albumina es la más abundante, su glicación es del 80% de las proteínas séricas. El mecanismo de glicación no enzimática adaptado se inicia cuando la molécula de GLU está en su forma de cadena abierta.

La técnica ayuda con la diferenciación de las hiperglicemias diabéticas (persistentes) de las no diabéticas (transitorias) en perros (Marca y Loste, 2000; Matamoros et al., 2002). En caninos hipoglicémicos por presencia de insulinoma, Marca y Loste (2000) no hallaron correlación entre FrAm y GLU, contrariamente a lo sugerido por Thorensen et al. (1995).

En alpacas recientemente, Kiene et al., (2024), observó hiperglucemia al ingreso en el 71% (89/125) de los animales. Esto se asoció significativamente con una mayor concentración de cortisol sérico y una mayor puntuación de estrés conductual. Se detectó FrAm por encima del límite de referencia en solo el

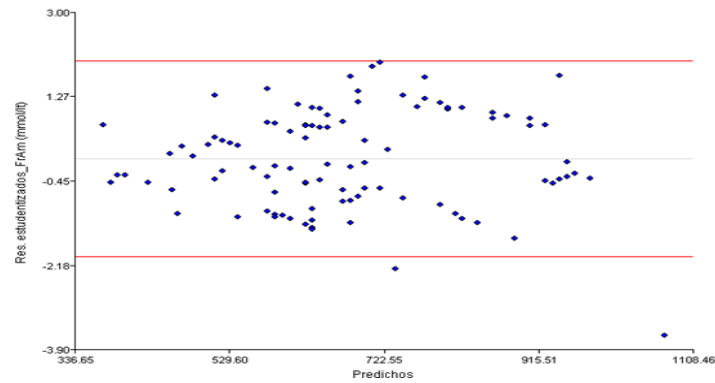
15% (13/89) de los individuos hiperglucémicos. Además de una correlación positiva de la FrAm con la concentración de GLU, se detectaron relaciones positivas con diferentes proteínas plasmáticas. No se observó una relación con los parámetros de estrés. Estos hallazgos subrayan que el estrés es un desencadenante significativo de la hiperglucemia en las alpacas y sugieren que la FrAm es un parámetro valioso para distinguir entre la hiperglucemia inducida por estrés y la hiperglucemia diabética. Sin embargo, se debe considerar la dependencia de la formación de esta y de la concentración total de proteínas plasmáticas para evitar interpretaciones erróneas.

En llamas la FrAm fue de $311 \pm 34 \mu\text{mol/l}$, con un rango de 254,8 a 409,2 $\mu\text{mol/l}$. Los machos mostraron niveles plasmáticos significativamente más altos que las hembras ($P < 0.05$). Wagener et al., 2024).

Todos los autores que diagnostican hiperglicemias constantes mediante la FrAm presumen de que la FrAm actual refleja las modificaciones de la glicemia de 7 a 21 días anteriores. Sin embargo, en nuestro conocimiento, la correlación positiva retrospectiva entre estos dos parámetros no ha sido comunicada ampliamente en alpacas. En los ruminantes, la aplicación de esta técnica en el diagnóstico precoz de toxemia de gestación o de cetosis subclínica fue sugerido ya en la década de 1990 (Jensen, 1993).

Rivas et al. (2006), indican que FrAm aporta una mejor apreciación de la utilización de la GLU; no obstante, se requiere mayor investigación sobre el uso de este indicador en ruminantes. El uso de FrAm en ovinos es sumamente escaso en la literatura. Nuestros valores promedio de FrAm fueron sensiblemente mayores que la media de 169 $\mu\text{mol/l}$ propuesto por Cantley et al. (1991), sobre la base de 93 ovinos en fin de gestación de los cuales 87 estaban aparentemente sanos y 6 revelaban sintomatología de toxemia de la preñez. Arnt et al. (2006) comunican una FrAm de $178 \pm 21 \mu\text{mol/l}$ para ovejas, pero al inicio de la gestación. En corderos, las concentraciones de FrAm serían algo superiores (226 $\mu\text{mol/l}$, citado por Cantley et al., 1991). Para Arnt et al. (2006), las concentraciones de FrAm mostraron un comportamiento paralelo a los de la GLU en la gestación y lactación de ovejas lecheras. Sorondo (2008), señala que no ha sido posible validar la utilidad de la FrAm para el análisis retrospectivo, entre 7 y 21 días, de la evolución de la glicemia en ruminantes en períodos productivos de alta demanda energética (vacas al inicio de la lactación y ovejas en el último tercio de la gestación).

Figura 6. Gráfico de los residuos estudentizados y valores predichos de los valores de FrAm en alpacas.

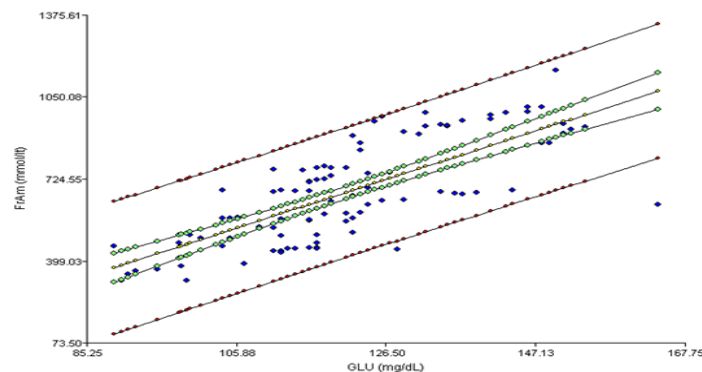


Al analizar los residuos versus valores de errores estudentizados o predichos, de la Figura 6, se observó un comportamiento disperso de la nube de puntos, se distribuyen de manera bastante simétrica, tendiendo a agruparse hacia la mitad del diagrama. Los valores se encuentran entre las líneas de corte, los residuos de los valores observados y los valores obtenidos de nuestro modelo de regresión lineal simple, los negativos pasan por arriba de nuestro

valor observado y los positivos pasan por debajo de nuestro valor observado en la recta de ajuste y la recta B1.

Los valores con respecto al cero no se dispersan demasiado, la distancia de residuos al eje de abscisas no es grande, no existiendo variación en los resultados, lo que demuestra que la aproximación es muy buena con nuestro modelo matemático.

Figura 7. Dispersograma con bandas de confianza y de predicción de FrAm con los de GLU



Al analizar el diagrama de dispersión con su línea de ajuste, y sus bandas de confianza y de predicción de la figura 7, podemos señalar solo que algunos pocos datos salen de las bandas predicción. Las bandas de confianza superior e inferior están con los límites superior e inferior y permiten predecir los valores de la variable dependiente con cierto grado de seguridad. Un intervalo de confianza es un rango de valores que contiene el valor verdadero de un parámetro de población, como la media, la proporción o la correlación, con un cierto nivel de confianza.

Un intervalo de predicción es un rango de valores que contiene una única observación futura de una

población o un proceso, con un cierto nivel de confianza. Refleja no solo la incertidumbre debida al error de muestreo, sino también la variabilidad dentro de la población o el proceso. Para construir un intervalo de predicción.

Finalmente proponemos el modelo:

$$y = B_0 + B_1(x) + e$$

$$y = -460.88 + 9.36(x)$$

De acuerdo con la ecuación por cada punto adicional en el valor de GLU esperaríamos subir la FrAm 9.36 $\mu\text{mol/l}$

CONCLUSIÓN

Se determinó que existe correlación lineal positiva alta entre FrAm y la GLU en suero de alpacas siendo altamente significativas. En cuanto al modelo estadístico Los coeficientes de Akaike (AIC) señala que hay diferencia muy significativa; el Bayesiano (BIC) indica mucha pérdida de información y una evidencia muy fuerte; y el Cp Mallow, nos señalan el sub ajuste del modelo. Mientras el Coeficiente de determinación nos señala que el 58% de los valores de FrAm son explicados por los valores de GLU existiendo 42% de variabilidad.

REFERENCIAS

- Anderson D. (2002). Liver disease in camelids. Ohio State University, USA [Internet]. Disponible en: <http://www.rmla.com/LiverDisease.html>
- Arnt, M., Diaz, F., Ribeiro, L., Campos, R., Lacerda, L., Barbosa, P. & Bergmann, G. (2006). Composição do sangue e do leite em ovinos leiteiros do sul do Brasil: variações na gestação e na lactação. *Ciência Rural*, 36(3), 942-948. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300033>.
- Ambruster, D.A. - Clin. Chem. 33/12:2153 (1987). <https://academic.oup.com/clinchem/article-abstract/33/12/2153/5653659>
- Bezerra HFC, Santos EM, de Carvalho GGP, de Oliveira JS, da Silva FF, Cassuce MR, Guerra RR, Pereira DM, Ferreira DJ, Nascimento TVC, Zanine AM. (2023). Metabolic profile of goats fed diets containing crude glycerin from biodiesel production. *Front Vet Sci*. Aug 31;10:1236542. doi: 10.3389/fvets.2023.1236542. PMID: 37727773; PMCID: PMC10505958. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1236542>
- Baker, J.R. - Clin. Chem. 31/9:1550 (1985). <https://doi.org/10.1093/clinchem/31.9.1550>
- Concha A. (2009). Perfil bioquímico sanguíneo hepático de vicuñas (*Vicugna vicugna*) criadas en cautiverio en Lima. (Tesis de Médico Veterinario). Lima: Universidad Nacional. 84 p. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v24n1/a05v24n1.pdf>
- Cebra, CK., SJ. Tornquist y Mc Kane. (2002). Effects of hydrocortisone on substrates of energy metabolism in alpacas. *Am J Vet Res* 63: 1269- 1274. DOI: 10.2460/ajvr.2004.65.1002. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2002.63.1269>
- Cebra CK, Tornquist SJ, Van Saun RJ, et al. (2001). Glucose tolerance testing in llamas and alpacas. *Am J Vet Res*;62(5):682-6. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.682>
- Cebra CK. (2000). Hyperglycemic, hypernatremic hyperosmolar disorder in neonatal llamas and alpacas. *J Am Vet Med Assoc*;217(11):1701-4. DOI:10.2460/JAVMA.2000.217.1701. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11110464/>
- Cantley C., Ford, C., Heath, M. (1991). Serum fructosamine in ovine pregnancy toxemia: a possible prognostic index. *The Veterinary Record*, 128(22), 525-526. <https://doi.org/10.1136/vr.128.22.525>
- Elmahdi B, Sallmann HP, Fuhrmann H, et al. (1997). Comparative aspects of glucose tolerance in camels, sheep, and ponies. *Comp Biochem Physiol A Physiol*;118:147-51. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9243815/>
- Fowler, M. and D. Zinkl. (1989). Reference Ranges For Hematologic and Serum Biochemical Values in Llamas (*Lama glama*). *American Journal of veterinary*, Vol 50, 12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2610431/>
- Filipović N., Stojić Z., Masek T., Mikulec Z., Prvanović N. (2011). Relationship between Fruc with serum protein, Alb and Glu concentrations in dairy ewes. *Small. Rum. Res.*, 96, 46-48. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.11.003>
- Filipović N., Stojić Z., Prvanović N. (2010): Serum Fruc concentrations in relation to metabolic changes during late pregnancy and early lactation in mares. *Berliner Und Münchener Tierärztliche Wochenschrift.*, 123, 116-173. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.11.003>
- Gounden V, Anastasopoulou C, Zubair M, Jialal I. Utilidad clínica de la fructosamina y la albúmina glicosilada. 14 de septiembre de (2025). En: StatPearls [Internet]. La isla del tesoro (FL): Publicación StatPearls; Enero de 2025-. PMID: 29262081. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262081/>
- Jensen AL. (1993) Various proteins and albumin corrections of the serum fructosamine concentration in the diagnosis of canine diabetes mellitus. *Vet Res Comm*, 17, 13-23. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8367935/>
- Kiene F, Buchallik-Schregel J, Röhrig P, Neubert S, von Altröck A, Bauer BU, Nicolaisen TJ, Schmicke M, Ganter M, Wagener MG. (2024). The measurement of plasma fructosamine as

- a diagnostic tool to improve the interpretation of plasma glucose and proteins in alpacas (*Vicugna pacos*). *Sci Rep*. Sep 27;14(1):22264. doi: 10.1038/s41598-024-73399-4. PMID: 39333374; PMCID: PMC11436879. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73399-4>
- Mossine VV, Mawhinney TP. (2023). 1-Amino-1-desoxi-d-fructosa ("fructosamina") y sus derivados. *Adv Carbohydr Chem Biochem*. 2023;83:27-132. doi: 10.1016/bs.accb.2023.10.002. Epub 7 de noviembre de 2023. PMID: 37968038. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37968038/>
- Marca MC, Loste A, Ramos JJ. (2000) Effect of acute hyperglycaemia on the serum Fructosamine and blood glycated haemoglobin concentrations in canine samples. *Vet Res Com* 24:11-16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10703749/>
- Matamoros R, Gomez C, Andaur M. (2002) Hormones of diagnostic value in Veterinary Medicine. *Arch Med Vet* 34: 167-182. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2002000200003>
- Lamraoui M, de Almeida AM, Khelef Y, Boukhalfa F, Lamraoui I, Sahraoui N. (2023). Establecimiento de perfiles bioquímicos y hematológicos de camello dromedario (*Camelus dromedarius*) bajo sistemas de producción extensivos e intensivos. *Trop Anim Health Prod*. 22 de diciembre de 2023; 56(1):25. doi: 10.1007/s11250-023-03795-x. PMID: 38133870. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38133870/>
- Ommaya AK, Atwater I, Yañez A, et al. (1995). Lama glama (the South American camelid, llama): a unique model for evaluation of xenogenic islet transplants in a cerebral spinal fluid driven artificial organ. *Transplant Proc*;27:3304–3307. DOI: 10.2460/ajvr.2004.65.1002. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8539964/>
- Rivas, J., Rossini, M. & Salvador, A. (2006). Indicadores clínicos como respuesta a la suplementación parenteral en vacas Brahman primíparas durante la pretemporada de monta. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 47(2), 113-120. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373139066006>
- Sakai T, Hamakawa M, Kubo S. (1996). Glucose and xylitol tolerance tests for ketotic and healthy dairy cows. *J Dairy Sci*;79: 372–377. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8708096/>
- Stehman SM, Morris LI, Weisensel L, et al. (1997) Case report: picornavirus infection associated with abortion and adult onset diabetes mellitus in a herd of llamas, in *Proceedings. 40th Annu Meet Am Assoc Vet Lab Diagn*;43. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.02.005>
- Scheicher, E.D. and Vogt, B.W. - *Clin. Chem*. 36/1:136 (1990). <https://doi.org/10.1093/clinchem/36.1.136>
- Sorondo I, M.L. (2008) Evaluación de la fructosaminemia para la detección de las alteraciones del metabolismo hidrocarbonado asociadas a las altas exigencias productivas de los rumiantes. Universidad de la República. FV. Tesis Maestría. Uruguay. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/24102>
- Sorondo M.L., Cirio A. (2009) Evaluation of the serum Fruc test to monitor plasma Glu concentration in the transition dairy cow. *J. Dairy Res.*, 76, 173-178. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19121232/>
- Sorondo M.L., Cirio A. (2011) Evaluation of the serum Fruc test to monitor plasma Glu concentration in the late-pregnant sheep. *Anim. Prod. Sci.*, 51, 662-666. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10703749/>
- Thorensen SI, Aleksandersen M, Lonaas L, Bredal WP, Grondalen J, Berthelsen K. (1995) Pancreatic insulin-secreting carcinoma in a dog: Fructosamine for determining persistent hypoglycaemia. *J Small Anim Pract* 36: 282-286. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1995.tb02921.x>
- Van Saun RJ. (2000). Nutritional support for treatment of hepatic lipidosis in a llama. *J Am Vet Med Assoc*;217:1531–1535. DOI: 10.2460/javma.2000.217.1531. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11128546/>
- Wagener MG, Kiene F, Buchallik-Schregel J, Röhrig P, Ganter M. (2024). Fructosamine in llamas (*Lama glama*) is associated with sex, body condition score, and hematologic and serum parameters. *Am J Vet Res*. Jul 22;85(10):ajvr.24.05.0140. doi: 10.2460/ajvr.24.05.0140. PMID: 39047779. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39047779/>