

Modelo multifactorial para la predicción del índice de líquido amniótico y su correlación con complicaciones maternas y fetales en mujeres embarazadas en Colombia

Multifactorial model for the prediction of amniotic fluid index and its correlation with maternal and fetal complications in pregnant women in Colombia

Salua Charanek Solano^{1a}, María Torres Guao^{2a}, Amiel Pérez Tirado^{3b}, Miguel Parra Saavedra^{4c}, Anderson Díaz Pérez^{5d}

RESUMEN

Uno de los indicadores clave de la salud fetal es el Índice de Líquido Amniótico (ILA), el cual desempeña un papel vital en la protección y el desarrollo del feto, y su evaluación precisa es esencial para identificar posibles complicaciones durante el embarazo.

Objetivo: Desarrollar un modelo de predicción multifactorial del ILA en gestantes colombianas.

Metodología: Estudio observacional retrospectivo con un componente de modelado predictivo. Se analizaron 148 historias clínicas con datos del ILA en relación con el peso fetal, problemas maternos y fetales a lo largo del tiempo de gestación en semanas. Se aplicó un análisis de correlación de Pearson para evaluar

las tendencias del ILA y un análisis de ANOVA para comparar las medias del ILA en función de la presencia de problemas maternos y fetales. Se llevó a cabo un análisis de efectos de interacción para evaluar la influencia conjunta de estos problemas en el ILA. Se generó un mapa de calor para visualizar el impacto de las variables predictoras para construir un modelo de clasificación CART[®].

Resultados: Los resultados mostraron que el ILA alto, moderado y bajo se ve influido significativamente por las complicaciones maternas y fetales. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las medias, indicando una relación entre los problemas maternos y fetales con el ILA.

Conclusión: El modelo predictivo multifactorial desarrollado en este estudio demostró una sólida capacidad para predecir el Índice de Líquido Amniótico (ILA) en gestantes colombianas como un estudio preliminar.

DOI: <https://doi.org/10.47307/GMC.2024.132.s1.15>

ORCID: 0009-0005-9958-5401¹

ORCID: 0009-0006-7543-6900²

ORCID: 0000-0001-6431-2255³

ORCID: 0000-0003-2287-000X⁴

ORCID: 0000-0003-2448-0953⁵

^aResidentes Especialización de Ginecología y Obstetricia. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla / Colombia.

^bFacultad Ciencias de la Salud. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla / Colombia.

Recibido: 6 noviembre 2023

Aceptado: 1 de diciembre 2023

Palabras clave: Embarazo, complicaciones, índice de líquido amniótico, modelo de predicción, atención prenatal, problemas maternos, problemas fetales.

^cDirector Instituto de Cirugía y Terapia Fetal del Caribe.

^dFacultad Ciencias de la Salud y Dpto. Ciencias Sociales y Humanas. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla / Colombia.

Corresponding author: Anderson Díaz Pérez. E-mail: anderson.diaz@unisimon.edu.co

SUMMARY

One of the critical indicators of fetal health is the Amniotic Fluid Index (AFI), which plays a vital role in the protection and development of the fetus, and its accurate assessment is essential to identify possible complications during pregnancy.

Aim: *Develop a multifactorial prediction model of ALI in Colombian pregnant women.*

Methodology: *Retrospective observational study with a predictive modeling component. One hundred forty-eight medical records were analyzed with ILA data in relation to fetal weight and maternal and fetal problems throughout the gestation period in weeks. A Pearson correlation analysis was applied to evaluate ILA trends, and an ANOVA analysis was used to compare ILA means based on maternal and fetal problems. An interaction effects analysis was conducted to assess the joint influence of these problems on ILA. A heat map was generated to visualize the impact of the predictor variables to build a CART® classification model.*

Results: *The results showed that high, moderate, and low ILA are significantly influenced by maternal and fetal complications. Statistically significant differences were found in the means, indicating a relationship between maternal and fetal problems with ILA.*

Conclusion: *The multifactorial predictive model developed in this study demonstrated a solid ability to predict the Amniotic Fluid Index (AFI) in Colombian pregnant women as a preliminary study.*

Keywords: *Pregnancy, complications, amniotic fluid index, prediction model, multifactorial, prenatal care, maternal problems, fetal problems.*

INTRODUCCIÓN

El líquido amniótico es el líquido protector presente en el saco amniótico, y está compuesto principalmente por agua y sólidos, entre ellos proteínas, carbohidratos, lípidos y fosfolípidos, enzimas, hormonas y sustancias químicas urea, ácido úrico, creatinina, electrolitos (1,2). Se desarrolla a partir del plasma de membrana durante el desarrollo del feto y sirve como cojín protector para el feto en crecimiento. Tiene propiedades antibacterianas para proteger al feto en crecimiento de infecciones, además facilita el intercambio de nutrientes, agua y productos bioquímicos entre madre y feto. Tiene propiedades antibacterianas para proteger al feto en crecimiento de infecciones, además facilita el intercambio de nutrientes, agua y

productos bioquímicos entre madre y feto. Además, están presentes diferentes tipos de células fetales que incluyen; células de la piel, respiratorias, intestinales, del tracto urinario y células madre, capilares y sanguíneas, todas las cuales ayudan en el crecimiento del feto (1,2). El ILA es una medida crucial en el monitoreo de la salud fetal durante el embarazo lo cual puede indicar complicaciones obstétricas como oligohidramnios o polihidramnios (3,4).

El volumen del ILA aumenta gradualmente con el crecimiento fetal y alcanza su punto máximo alrededor de las 34 semanas de gestación. El exceso de líquido amniótico, conocido como polihidramnios, puede tener factores de riesgo como diabetes materna, insuficiencia cardíaca fetal, deglución anormal e infección congénita, lo que puede llevar a complicaciones adversas tanto para la madre como para el feto, incluyendo parto prematuro y cesárea de emergencia (2). Por otro lado, un volumen de líquido amniótico inferior a 5 cm, llamado oligohidramnios, puede ser causado por rotura prematura de membranas, restricción del crecimiento intrauterino y defectos de nacimiento (5). El oligohidramnios puede causar problemas en el desarrollo fetal y aumentar el riesgo de compresión del cordón umbilical, lo que puede resultar en la muerte fetal, especialmente en el segundo trimestre (1,2,4). En el tercer trimestre, muchos casos de oligohidramnios son de causa desconocida, y la presencia de resultados fetales amenazantes se asocia con complicaciones como la compresión del cordón umbilical y la insuficiencia uteroplacentaria (1,2). En este sentido, es importante el monitoreo prenatal para detectar tempranamente posibles problemas de salud materna y fetal (5), donde una adecuada predicción del ILA puede ayudar a los profesionales de la salud a tomar decisiones informadas y a brindar una atención prenatal más precisa (5).

Actualmente, la predicción del ILA se basa en métodos clínicos y de ultrasonido. Sin embargo, estos métodos pueden tener limitaciones y no siempre son precisos. Esto resalta la necesidad de desarrollar un modelo de predicción más sofisticado que considere múltiples factores (6-11). Una revisión Cochrane concluyó que el uso de ILA aumenta la tasa de diagnóstico de oligohidramnios y la tasa de inducción del parto sin mejorar el resultado

periparto (12). Se ha investigado previamente la predicción del ILA utilizando diferentes enfoques, como regresión lineal y métodos estadísticos tradicionales (5-9,11-14). Sin embargo, estos métodos pueden no ser lo suficientemente precisos en contextos particulares, como el colombiano, donde las características específicas de la población y las condiciones de atención médica en el país requieren un enfoque más adaptado. Un modelo diseñado específicamente para gestantes colombiana. **Objetivo.** Desarrollar un modelo de predicción multifactorial del Índice de Líquido Amniótico (ILA) en gestantes colombianas, considerando variables maternas, fetales y obstétricas, con el fin de comprender y prever las variaciones en los niveles de ILA a lo largo del embarazo y su relación con problemas maternos y fetales.

METODOLOGÍA

El estudio es Observacional Retrospectivo con un componente de Modelado Predictivo

El estudio se realizó en un centro de medicina materno fetal y cirugía fetal en la ciudad de Barranquilla, Colombia desde el 17 de enero al 21 de julio de 2023. Los datos de las pacientes se tomaron de las historias clínicas tales como el peso fetal, problemas maternos y fetales a lo largo del tiempo de gestación expresado en semanas. Se incluyeron todas las pacientes gestantes que se realizaron ecografía obstétrica de detalle anatómico, Doppler fetal y Doppler de arterias uterinas que se encontraban entre segundo y tercer trimestre con gestación única. Las pacientes atendidas en el centro ecográfico, en donde se incluyeron embarazos únicos, IMC (>30). Se excluyeron gestantes con embarazo de primer trimestre, embarazo múltiple, gestantes cursando con procesos infecciosos con sospecha de infección intraamniótica, no control prenatal.

La edad gestacional se calculó por biometría fetal dado por ultrasonido, se comparó con la fecha de última menstruación para guardar correlación, y en caso de no corresponder se calculó fecha de última menstruación corregida. De 186 gestantes reclutadas, se excluyeron 38, ya que se logró la comunicación con dichas pacientes o no desearon continuar en el estudio para un total

de 148 gestantes. Se calculó el tiempo necesario para recolectar datos sobre edad gestacional al momento del parto, trabajo de parto, y datos del recién nacido.

Los exámenes de ultrasonido del estudio fueron realizados por un solo ecografista certificado, el equipo de ultrasonido utilizado para el estudio fue un Voluson E6 con sonda transabdominal de 4-8 MHz o 6 MHz, las mediciones biométricas fetales se tomaron según criterios de imagen para cada área de biometría fetal (BDP, HC, AC, FL, ILA, MVP), Doppler fetal (MCA IP, MCA PVS) y Doppler de arterias uterinas derecha e izquierda, se realizó un conjunto completo de mediciones de líquido amniótico y máximo bolsillo vertical.

Para el análisis de la información se evaluaron los valores del ILA a lo largo de las semanas de gestación por medio del cálculo de correlación de Pearson con un p-valor $\leq 0,05$ mediante el programa Wizard 2[®]. Se realizó un análisis de ANOVA para comparar las medias del ILA en relación con la presencia de problemas maternos y fetales con el programa Minitab[®]. Se realizó un análisis de efectos de interacción para evaluar si con los problemas maternos y fetales existe una relación con el ILA, con un nivel de confianza del 95 % un valor de $p \leq 0,05$. Se generó un mapa de calor predictivo con el objetivo de visualizar el impacto de las variables predictivas. Se construyó un modelo de clasificación CART[®] para predecir categorías de ILA (Alto, Bajo, Moderado) en función de los predictores mediante el programa Minitab[®]. Para el modelo se evaluaron métricas como la tasa de error de clasificación y el área bajo la curva ROC para medir el rendimiento del modelo, como también un gráfico de importancia de variable relativa para identificar los predictores más importantes para el modelo.

Para el análisis predictivo se desarrolló el cálculo del modelo de regresión de Poisson desarrollado con el programa Wizard 2[®] el cual aplicó la siguiente fórmula:

- Yi: Número de ocurrencias del ILA para la observación i.
- Xi1: Variable binaria que representa la presencia (1) o ausencia (0) de problemas maternos para la observación i.
- Xi2: Variable binaria que representa la

MODELO MULTIFACTORIAL

presencia (1) o ausencia (0) de problemas fetales para la observación i .

- X_{i3} : Peso del feto en gramos para la observación i .
- X_{i4} : Número de semanas de embarazo para la observación i .

El modelo de Regresión de Poisson se define de la siguiente manera:

$$E(Y_i) = \lambda_i$$

Donde $E(Y_i)$ es el valor esperado (media) de Y_i y λ_i , representa la tasa de ocurrencia del evento (en este caso, el ILA) para la observación i .

La tasa de ocurrencia λ_i se modela en función de las variables predictoras de la siguiente manera:

$$\text{Log}(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_4 X_{i4}$$

Donde:

- β_0 : Interceptor del modelo.
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 : Coeficientes de regresión asociados con las variables predictoras correspondientes.

Luego, para obtener una estimación de la tasa de ocurrencia real (λ_i) para cada observación, se puede utilizar la siguiente fórmula:

Para la Clasificación (Classification and Regression Trees) CART[®]: Se seleccionaron las variables problemas maternos, problemas fetales, peso fetal y semana de embarazo. Se calculó el costo de clasificación errónea tanto en el conjunto de entrenamiento como en el conjunto de prueba. Esto proporcionó una medida de la precisión del modelo en la clasificación de las observaciones en las categorías deseadas (Figura 1).

Se evaluó el modelo de Clasificación CART[®] mediante métricas como la tasa de error de clasificación y el área bajo la curva ROC. Estas métricas ayudaron a medir el rendimiento y la capacidad del modelo para clasificar las observaciones correctamente en las categorías de ILA (Alto, Bajo, Moderado). También se analizó la importancia relativa de las variables en el modelo de árbol de clasificación. Esto identificó los predictores que tenían un impacto significativo en la clasificación de las categorías de ILA, para lo cual se generó un diagrama de árbol de clasificación que ilustraba las divisiones y las reglas utilizadas para clasificar estas en diferentes categorías de ILA.

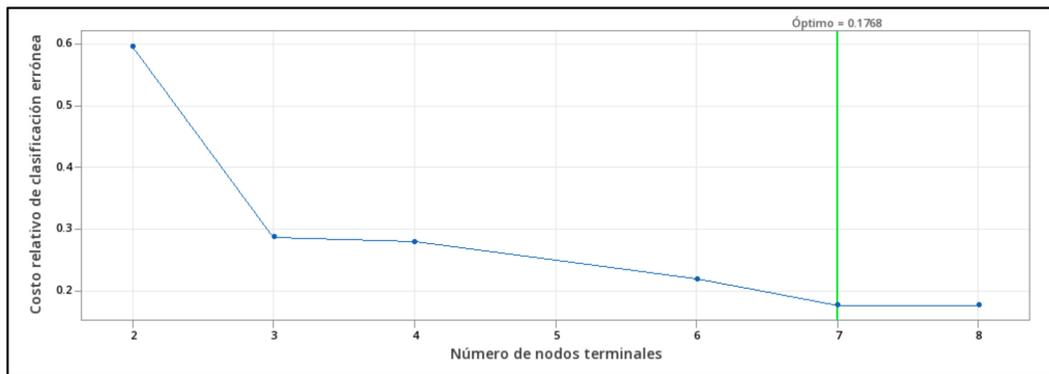


Figura 1. Costos de clasificación errónea versus número de nodos terminales del modelo CART[®].

Para garantizar el componente ético se respetaron los principios de privacidad y confidencialidad de las pacientes, donde los datos médicos y personales se manejaron de acuerdo con las regulaciones y normativas aplicables a la gestión de historias clínicas. En este sentido, se realizaron procesos de anonimización de los datos que podrían identificar a las pacientes,

cumpliendo con la Ley 23 de 1981 y la Resolución 1995 de 1999. Además, es importante destacar que el estudio se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la Resolución 8430/93, clasificándolo como una investigación sin riesgo. Se obtuvo el consentimiento informado siguiendo las indicaciones de la declaración del Código de Nuremberg

RESULTADOS

En el análisis de datos, se observan patrones de correlación significativos que arrojan luz sobre las relaciones entre las diversas variables examinadas en el presente modelo multifactorial.

Se observó una correlación negativa significativa (-0,49) entre el peso en gramos del feto y el índice de la arteria umbilical (IP), lo que

implica que a medida que el peso fetal aumenta, es menos probable que se presente un alto índice de pulsatilidad en la arteria umbilical. Entre los problemas maternos, se encontró una fuerte correlación positiva (0,76) entre la hipertensión gestacional y la preeclampsia. Se observa que la presencia de diabetes gestacional está correlacionada con un aumento en el índice de pulsatilidad de la arteria uterina derecha (0,46) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de correlación de variables presentes en la mujer embarazada

	Peso gramos	Percentil [IL A]	Lago mayor	Arteria umbilical	Arteria uterina derecha	Arteria uterina izquierda	Arteria uterina media	Hipertensión gestacional	Problemas maternos	Peso al nacer	Apgar
Edad Gestación al Percentile		0,19									
Lago Mayor	0,31	0,18								0,48	
Arteria Umbilical (IP)	-0,49										
Arteria Uterina Derecha	-0,39			0,21							
Arteria Uterina Izquierda	-0,38										
Arteria Uterina Media	-0,26	-0,22									
Arteria Cerebral Media											
Preeclampsia								0,76	0,38		
Diabetes Gestación al Problemas Maternos				0,46	0,42	0,45					
Edad Gestacional Nacimiento										0,48	0,39
Género											0,3
Peso al Nacer		0,48									
Vía del Parto			0,26 -0,26						-0,45		

Todas las correlaciones se calcularon con un nivel de confianza del 95 % un valor de $p \leq 0,05$

MODELO MULTIFACTORIAL

A medida que avanza la gestación, el ILA predicho tiende a aumentar gradualmente, lo que es una tendencia normal a medida que se acumula más líquido amniótico. En las últimas semanas de gestación a partir de la semana 37, se observan valores de ILA que están fuera del rango normal de la población estudiada, lo que sugiere una posible complicación a polihidramnios. La

presencia de problemas maternos y fetales parece estar correlacionada con valores de ILA fuera del rango normal de lo esperado en la población de gestantes. Por ejemplo, cuando se menciona "Si" en los problemas maternos y fetales, a menudo se observan valores de ILA más bajos o más altos del valor esperado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Predicciones del Modelo de Poisson para (ILA) teniendo presente los problemas maternos, problemas fetales, peso en gramos del feto y semanas de embarazo

Predicciones Modelo de Poisson IC: 95 %	Semana Embarazo	Peso Gramos del Feto	Problemas Fetales	Problemas Maternos	Predicción Índice de Líquido Amniótico [ILA]
Predicción 1		275	No	No	15
Predicción 2		275	Si	Si	10
Predicción 3		275	Si	No	12
Predicción 4	20	275	No	Si	13
Predicción 5		387	No	No	15
Predicción 6		387	Si	Si	10
Predicción 7		387	Si	No	12
Predicción 8		387	No	Si	13
Predicción 9		331	No	No	15
Predicción 10		331	Si	Si	10
Predicción 11		331	Si	No	12
Predicción 12	21	331	No	Si	13
Predicción 13		467	No	No	15
Predicción 14		467	Si	Si	10
Predicción 15		467	Si	No	12
Predicción 16		467	No	Si	13
Predicción 17		398	No	No	16
Predicción 18		398	Si	Si	10
Predicción 19		398	Si	No	12
Predicción 20	22	398	No	Si	13
Predicción 21		559	No	No	15
Predicción 22		559	Si	Si	10
Predicción 23		559	Si	No	12
Predicción 24		559	No	Si	13
Predicción 25	23	471	No	No	16
Predicción 26		471	Si	Si	11
Predicción 27		471	Si	No	12
Predicción 28		471	No	Si	13
Predicción 29		665	No	No	16
Predicción 30		665	Si	Si	10
Predicción 31		665	Si	No	12
Predicción 32		665	No	Si	13
Predicción 33		556	No	No	16
Predicción 34		556	Si	Si	11
Predicción 35		556	Si	No	13
Predicción 36	24	556	No	Si	14
Predicción 37		784	No	No	16
Predicción 38		784	Si	Si	10

Continúa en pag. 107...

...continuación del Cuadro 2.

Predicciones Modelo de Poisson IC: 95 %	Semana Embarazo	Peso Gramos del Feto	Problemas Fetales	Problemas Maternos	Predicción Índice de Líquido Amniótico [ILA]
Predicción 39		784	Si	No	12
Predicción 40		784	No	Si	13
Predicción 41		652	No	No	16
Predicción 42		652	Si	Si	11
Predicción 43		652	Si	No	13
Predicción 44	25	652	No	Si	14
Predicción 45		918	No	No	16
Predicción 46		918	Si	Si	11
Predicción 47		918	Si	No	12
Predicción 48		918	No	Si	13
Predicción 49		758	No	No	17
Predicción 50		758	Si	Si	11
Predicción 51		758	Si	No	13
Predicción 52	26	758	No	Si	14
Predicción 53		1 068	No	No	16
Predicción 54		1 068	Si	Si	11
Predicción 55		1 068	Si	No	13
Predicción 56		1 068	No	Si	14
Predicción 57		876	No	No	17
Predicción 58		876	Si	Si	11
Predicción 59		876	Si	No	13
Predicción 60		876	No	Si	14
Predicción 61		1 240	No	No	16
Predicción 62		1 240	Si	Si	11
Predicción 63		1 240	Si	No	13
Predicción 64		1 240	No	Si	14
Predicción 65		1 004	No	No	17
Predicción 66		1 004	Si	Si	11
Predicción 67		1 004	Si	No	13
Predicción 68	28	1 004	No	Si	14
Predicción 69		1 416	No	No	16
Predicción 70		1 416	Si	Si	11
Predicción 71		1 416	Si	No	13
Predicción 72		1 416	No	Si	14
Predicción 73		1 145	No	No	17
Predicción 74		1 145	Si	Si	11
Predicción 75		1 145	Si	No	13
Predicción 76	29	1 145	No	Si	14
Predicción 77		1 613	No	No	16
Predicción 78		1 613	Si	Si	11
Predicción 79		1 613	Si	No	13
Predicción 80		1 613	No	Si	14
Predicción 81		1 294	No	No	17
Predicción 82		1 294	Si	Si	11
Predicción 83		1 294	Si	No	13
Predicción 84	30	1 294	No	Si	15
Predicción 85		1 824	No	No	16
Predicción 86		1 824	Si	Si	11
Predicción 87		1 824	Si	No	13
Predicción 88	30	1 824	No	Si	14

Continúa en pag. 108...

MODELO MULTIFACTORIAL

...continuación del Cuadro 2.

Predicciones Modelo de Poisson IC: 95 %	Semana Embarazo	Peso Gramos del Feto	Problemas Fetales	Problemas Maternos	Predicción Índice de Líquido Amniótico [ILA]
Predicción 89		1 453	No	No	17
Predicción 90		1 453	Si	Si	11
Predicción 91		1 453	Si	No	13
Predicción 92		1 453	No	Si	15
Predicción 93		2 049	No	No	16
Predicción 94		2 049	Si	Si	11
Predicción 95		2 049	Si	No	13
Predicción 96		2 049	No	Si	14
Predicción 97		1 621	No	No	17
Predicción 98		1 621	Si	Si	11
Predicción 99		1 621	Si	No	14
Predicción 100	32	1 621	No	Si	15
Predicción 101		2 285	No	No	16
Predicción 102		2 285	Si	Si	11
Predicción 103		2 285	Si	No	13
Predicción 104		2 285	No	Si	14
Predicción 105		1 794	No	No	17
Predicción 106		1 794	Si	Si	12
Predicción 107		1 794	Si	No	14
Predicción 108	33	1 794	No	Si	15
Predicción 109		2 530	No	No	16
Predicción 110		2 530	Si	Si	11
Predicción 111		2 530	Si	No	12
Predicción 112		2 530	No	Si	13
Predicción 113		1 974	No	No	17
Predicción 114		1 974	Si	Si	12
Predicción 115		1 974	Si	No	14
Predicción 116	34	1 974	No	Si	15
Predicción 117		2 781	No	No	16
Predicción 118		2 781	Si	Si	11
Predicción 119		2 781	Si	No	12
Predicción 120		2 781	No	Si	13
Predicción 121		2 154	No	No	17
Predicción 122		2 154	Si	Si	12
Predicción 123		2 154	Si	No	14
Predicción 124	35	2 154	No	Si	15
Predicción 125		3 036	No	No	16
Predicción 126		3 036	Si	Si	10
Predicción 127		3 036	Si	No	12
Predicción 128		3 036	No	Si	13
Predicción 129		2 335	No	No	17
Predicción 130		2 335	Si	Si	12
Predicción 131		2 335	Si	No	14
Predicción 132	36	2 335	No	Si	15
Predicción 133		3 291	No	No	16
Predicción 134		3 291	Si	Si	10
Predicción 135		3 291	Si	No	12
Predicción 136		3 291	No	Si	13
Predicción 137		2 513	No	No	17
Predicción 138		2 513	Si	Si	12

Continúa en pag. 109...

...continuación del Cuadro 2.

Predicciones Modelo de Poisson IC: 95 %	Semana Embarazo	Peso Gramos del Feto	Problemas Fetales	Problemas Maternos	Predicción Índice de Líquido Amniótico [ILA]
Predicción 139	37	2 513	Si	No	14
Predicción 140		2 513	No	Si	12
Predicción 141		3 542	No	No	15
Predicción 142		3 542	Si	Si	10
Predicción 143		3 542	Si	No	12
Predicción 144		3 542	No	Si	13
Predicción 145	38	2 686	No	No	18
Predicción 146		2 686	Si	Si	12
Predicción 147		2 686	Si	No	14
Predicción 148		2 686	No	Si	15
Predicción 149		3 786	No	No	15
Predicción 150		3 786	Si	Si	10
Predicción 151		3 786	Si	No	12
Predicción 152		3 786	No	Si	13

Este conjunto de datos representa las predicciones generadas por un Modelo de Poisson en relación con el Índice de Líquido Amniótico (ILA), considerando distintas variables maternas y fetales. Semana de Embarazo: El número de semanas de gestación en el que se realizó la predicción. Peso en Gramos del Feto: Peso estimado del feto en gramos al momento de la predicción. Problemas Fetales: Indicación de la presencia (Si) o ausencia (No) de problemas fetales (no se describe de manera específica el tipo de problema fetal ya que se tomó en su conjunto). Problemas Maternos: Indicación de la presencia (Si) o ausencia (No) de problemas maternos (no se describe de manera específica

el tipo de problema fetal ya que se tomó en su conjunto). Predicción del ILA: Valor predicho para el Índice de Líquido Amniótico basado en las variables consideradas por el modelo de Poisson. Cada fila representa una predicción específica generada por el modelo en función de las variables maternas y fetales mencionadas.

La Figura 2 de los efectos de interacción para probar la hipótesis nula, de que no hay una interacción entre los dos factores, observa que los efectos de interacción no se encuentran dentro de los límites de decisión, lo que indica que los efectos de interacción son estadísticamente significativos.

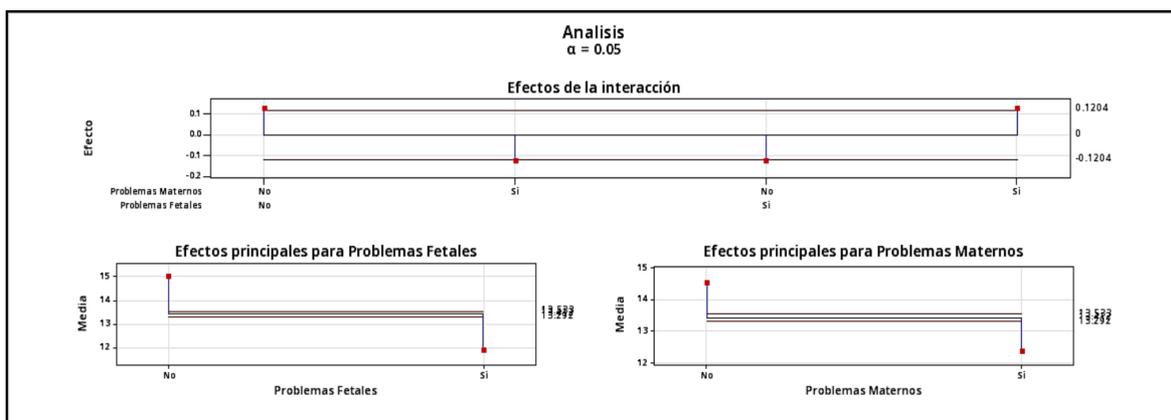


Figura 2. ANOM de dos factores [Efectos Principales Para Problemas Fetales y Maternos] de predicción de índice de líquido amniótico.

MODELO MULTIFACTORIAL

Al momento de evaluar los efectos principales: problemas maternos y fetales se observa que sus medias están fuera de los límites de decisión, es decir, que esta condición indica que la diferencia entre cada una de estas medias y la media general es estadísticamente significativa (Figura 3).

Se elaboró un mapa de calor predictivo, el cual mostró un patrón similar al arrojado en el Cuadro 1. En el cual se observó el patrón que a medida que aumenta los problemas fetales y maternos, sobre todo en las primeras semanas de embarazo disminuye el volumen de líquido amniótico (Figura 3).

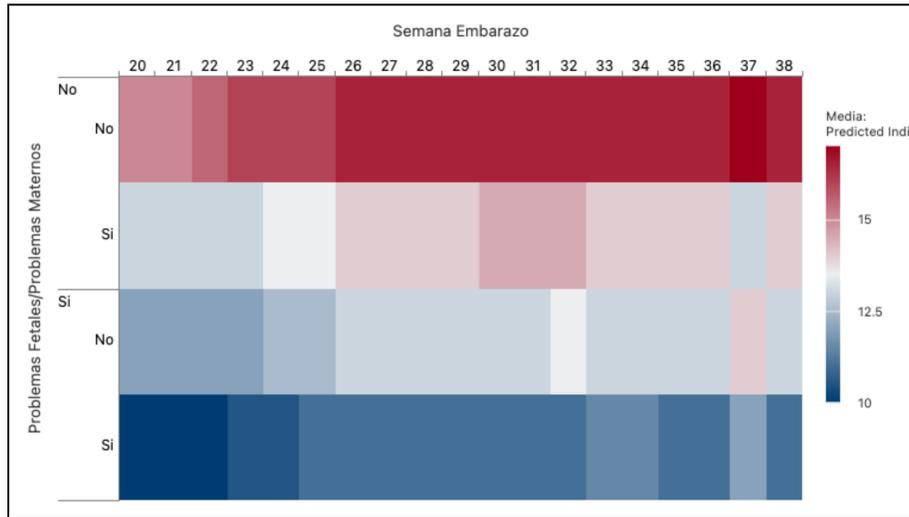


Figura 3. Mapa de calor de predicción de Índice de líquido amniótico.

Se desarrolló un análisis de Clasificación CART® donde la salida clave incluye el diagrama de árbol, los costos de clasificación incorrecta, la importancia variable y la matriz de confusión. El modelo de aprendizaje automático proporcionó métricas relacionadas con la curva ROC para diferentes categorías.

Las tasas ROC mostró que el modelo tiene un alto poder de discriminación (0,9932) para predecir la categoría "Alto" en comparación con "No", un poder de discriminación moderado (0,9702) para la categoría "Bajo" en comparación con "No" y un poder de discriminación más bajo (0,9328) para la categoría "Moderado" en comparación con "No". En relación, la tasa de error de clasificación en el conjunto de entrenamiento fue del 14,74 % de las observaciones en el conjunto de entrenamiento se clasificaron incorrectamente según las predicciones del modelo. Por otro lado, el costo de clasificación errónea la tasa de error de clasificación es del 17,68 %, es decir, que en el conjunto de prueba se clasificaron incorrectamente. En conclusión, estas métricas sugieren que el modelo tiene un rendimiento moderado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resumen del modelo CART®

Total de predictores	4
Predictores importantes	4
Número de nodos terminales	7
Tamaño mínimo del nodo terminal	8
Costo de clasificación errónea (Entrenamiento)	0,1474
Costo de clasificación errónea (Prueba)	0,1768
Área bajo la curva ROC	
Predicción ILA = Alto vs. No	0,9932
Predicción ILA = Bajo vs. No	0,9702
Predicción ILA = Moderado vs. no	0,9328

El modelo de clasificación CART® permitió predecir categorías de ILA (Alto, Bajo, Moderado) en función de los predictores: semanas de gestación, peso fetal en gramos, problemas maternos y fetales. En conjunto, el modelo CART® demostró una buena capacidad para predecir y distinguir entre diferentes niveles de habilidad en ILA, aunque con una ligera variación en la precisión entre los datos de entrenamiento y prueba. Esto sugiere una prometedora capacidad predictiva, especialmente en la identificación de niveles altos de habilidades en ILA frente a otras categorías (Figura 4).

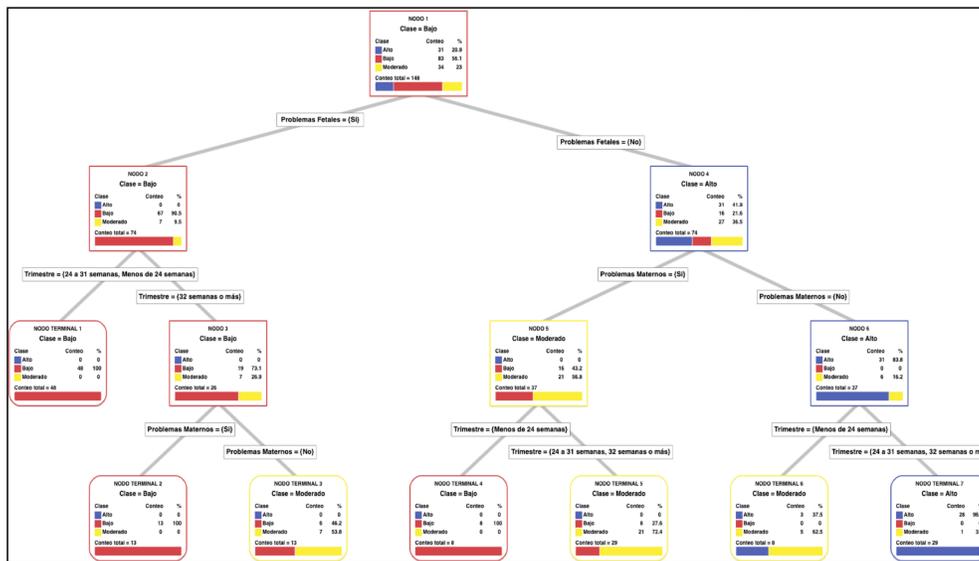


Figura 4. Clasificación CART® De 7 Nodos: Predicción de ILA versus problemas maternos, problemas fetales, peso fetal y semanas de embarazo.

CART® se desarrolló dividiendo el conjunto de datos en subconjuntos basados en los predictores seleccionados. El árbol se dividió en nodos terminales, donde se realizaron las clasificaciones. Se estableció un tamaño mínimo para los nodos terminales. El árbol de clasificación CART® (Classification and Regression Trees) es un algoritmo de aprendizaje automático utilizado para la clasificación y predicción en análisis predictivo. El modelo CART® utilizado para hacer predicciones basadas en 4 variables importantes produjo resultados significativos: Utilizó 4 predictores importantes para realizar predicciones. Generó un árbol con 7 nodos terminales, lo que significa que identificó 7 categorías finales para las muestras. Estableció un tamaño mínimo de 8 muestras para cada categoría final.

Durante el entrenamiento, tuvo un costo de clasificación errónea del 14,74 %, mientras que en las pruebas, este costo fue del 17,68 %, lo que indica un ligero aumento en la tasa de predicciones incorrectas en datos no vistos. Mostró una capacidad de discriminación bastante alta en las predicciones de las distintas categorías de habilidades en ILA (Alto, Bajo, Moderado vs. No) con áreas bajo la curva ROC que indican un buen rendimiento predictivo, especialmente para la predicción de ILA "Alto vs. No", que alcanzó un 99,32 %.

Se realizó un gráfico de importancia de variable relativa para determinar qué predictores son las variables más importantes para el árbol de Clasificación CART®, donde los problemas maternos se encuentran alrededor del 100 % en comparación de los problemas fetales con una importancia relativa del 79 % (Figura 5).

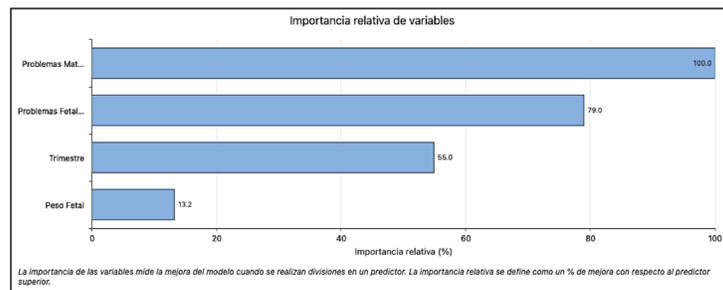


Figura 5. Importancia de variable relativa para determinar qué predictores son las variables más importantes para el árbol de Clasificación CART®.

Finalmente teniendo presente el análisis CART® se realizó una optimización y personalización gráfico destacando la importancia y relevancia del estudio en esta población de mujeres gestantes.

Teniendo en cuenta los datos tomados de las historias clínicas de las pacientes gestantes evaluadas, no presentaron un ILA menor de 10 por lo que la correlación y el análisis de las variables se hizo a partir de este valor. Ajustando a nuestra población de estudio se puede observar que un índice de líquido amniótico disminuido conlleva a que se presenten problemas fetales con un impacto mayor en las edades gestacionales lejanas al término con un valor predictivo del 100 %, con relación al peso fetal estimado entre 2 000 – 2 999 gramos con un valor predictivo de hasta de un 80 % (Figura 6).

En cuanto a los problemas maternos, un ILA moderado sería entre 14-15 cm, con un valor predictivo del 48 %, pero este valor aumenta si el peso fetal estimado > 3 000 g, llegando a un valor predictivo de hasta el 75 %, publicaciones previas han mencionado que esto conlleva a problemas maternos y fetales, con un valor predictivo del 58,8 % en complicaciones maternas. Entre las 24 a 31 semanas de gestación presenta un valor predictivo del 72,4 % si el peso fetal se encuentra ≤ 2 000 hasta 2 999 g con un valor predictivo del 80 %, teniendo en cuenta lo antes mencionado la diabetes gestacional es la patología más prevalente, además tenemos la obesidad materna, el aumento excesivo de peso en el embarazo, antecedentes de recién nacidos macrosómicos en gestaciones anteriores, debido a que aumenta el riesgo de macrosomía fetal, presentándose así distocias de hombros, fracturas óseas, asfisia perinatal, muerte perinatal (Figura 6).

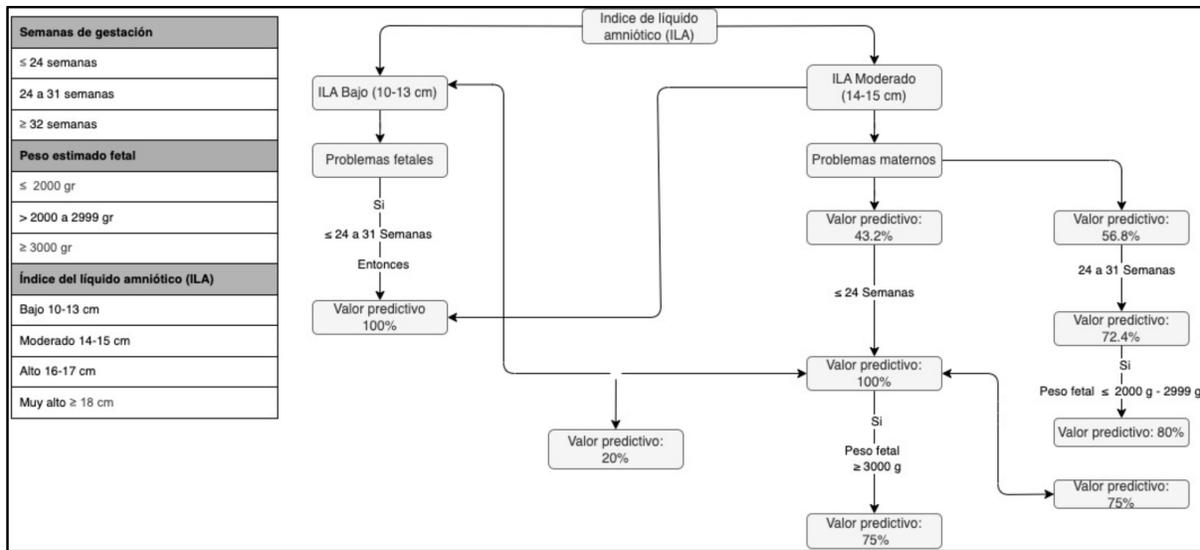


Figura 6. Optimización y personalización del análisis CART para la predicción del Índice de Líquido Amniótico en gestantes colombianas.

DISCUSIÓN

En este estudio, se busca construir la identificación de patrones de evaluación entre las variables estudiadas y el Índice de Líquido Amniótico (ILA) en gestantes colombianas arrojando una luz sobre la complejidad de la salud materno-fetal. Una de las limitaciones del presente estudio, fue la recolección de datos en un solo centro ecográfico, sin embargo, varios

estudios mencionan que la variabilidad entre observadores en la medición de la biometría eco fetal y el líquido amniótico en el tercer trimestre, no parece tener un impacto adverso en la capacidad de reproducibilidad de los parámetros biométricos fetales. Esto es particularmente válido cuando la medición es realizada por un médico ecografista con experiencia, especialmente si su actividad principal se enfoca en la realización de ecografías obstétricas (7).

Los diagnósticos relacionados con problemas maternos y fetales enfrentan diversas limitaciones y desafíos. La precisión de las pruebas diagnósticas puede ser variable, influida por factores como la interpretación subjetiva en ecografías y la complejidad intrínseca de ciertas condiciones multifactoriales. Además, la presencia de sesgos en la interpretación clínica y la variabilidad en la presentación de condiciones clínicas añaden dificultades a la identificación temprana y precisa (2,5). Abordar estas limitaciones exige mejoras en la precisión de las pruebas, la formación continua de profesionales de la salud y la adopción de enfoques multidisciplinarios. Asimismo, asegurar un acceso equitativo a la atención médica y a tecnologías diagnósticas adecuadas es esencial para mejorar la detección oportuna y precisa de problemas maternos y fetales, lo que, en última instancia, impacta positivamente en la calidad de la atención durante el embarazo (5).

En las últimas semanas de gestación a partir de la semana 37, se observan valores esperados de ILA que están fuera de lo considerado normal en este grupo de gestantes, esto podría atribuirse a que los riñones fetales son la principal fuente de producción de líquido amniótico durante el tercer trimestre y esto se realiza mediante la producción de orina fetal, mientras que la deglución fetal representa aproximadamente la mitad de la cantidad total de líquido eliminado durante el tercer trimestre, en donde se puede observar un mayor aumento en la velocidad y cantidad de deglución de líquido en comparación con la micción (15); esto puede explicar la disminución en el volumen de líquido amniótico a medida que avanza la edad gestacional.

Los valores del ILA del tercer trimestre son proporcionales a la producción de orina fetal y, por lo tanto, en el rango normal indican una buena perfusión placentaria y una buena transferencia fetal de nutrientes y oxígeno. De ahí que el seguimiento del ILA se haya convertido en un estándar de atención prenatal (4). Se cree que el oligohidramnios, en un embarazo sin anomalía renal fetal ni obstrucción genitourinaria, representa estrés “crónico” en el útero (1). Sin embargo, en nuestros resultados parece ir incrementando, con tendencia al polihidramnios

CONCLUSIÓN

La identificación de patrones de compresión apoyó un papel esencial en la comprensión de las complejas interacciones entre las variables y su impacto en el ILA en las gestantes colombianas. El modelo multifactorial permitió utilizar los datos recopilados para realizar predicciones valiosas en el ámbito de la salud materna y fetal, lo que puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones clínicas.

El volumen y forma del compartimento del líquido amniótico es muy dinámico debido a factores fetales y maternos, lo que introduce un componente subjetivo en su medición. Teniendo en cuenta que no hay consenso sobre cómo medir documentar/describir mejor el volumen de líquido amniótico, el presente estudio arrojó la identificación de patrones de evaluación entre las variables estudiadas y el ILA en gestantes colombianas, arrojando una luz sobre la complejidad de la salud materno-fetal y ofreciendo oportunidades para la mejora de la atención prenatal debido a las particularidades de su población y las condiciones de atención médica. Sin embargo, la medición del volumen del líquido amniótico, por sí solo no garantiza un pronóstico perinatal. En este sentido, nuestros hallazgos pueden desafiar el patrón establecido, por ejemplo, encontramos evidencia que sugiere que el desarrollo adecuado de un modelo predictivo es una herramienta importante para la interpretación de datos clínicos para saber que desenlace materno y perinatal esperar.

El modelo de clasificación CART® desarrollado en este estudio, representa un avance en la predicción del ILA y la identificación de perfiles de riesgo específicos para las gestantes colombianas, proporcionando a los profesionales de la salud una herramienta para tomar decisiones clínicas más informadas y personalizadas, lo que podría tener un impacto directo en la salud y en el bienestar tanto de las madres como de los recién nacidos. Sin embargo, para evaluar la validez estadística del modelo para diversas gestantes, se necesitarían estudios adicionales que validen y verifiquen la precisión del modelo en muestras independientes de gestantes de diferentes regiones o contextos.

La investigación identificó patrones específicos entre las variables estudiadas y el ILA en gestantes colombianas, resaltando la complejidad de la salud materno-fetal en esta población específica.

REFERENCIAS

1. Magann EF, Doherty DA, Field K, Chauhan SP, Muffley PE, Morrison JC. Biophysical Profile with Amniotic Fluid Volume Assessments. *Obstet Gynecol.* 2004;104(1):5.
2. Bakhsh H, Alenizy H, Alenazi S, Alnasser S, Alanazi N, Alsowinea M, et al. Amniotic fluid disorders and the effects on prenatal outcome: A retrospective cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2021;21(1):75.
3. Ott WJ. Reevaluation of the relationship between amniotic fluid volume and perinatal outcome. *Am J Obstet Gynecol.* 2005;192(6):1803-1809.
4. Hebbar S, Rai L, Adiga P, Guruvare S. Reference Ranges of Amniotic Fluid Index in Late Third Trimester of Pregnancy: What Should the Optimal Interval between Two Ultrasound Examinations Be? *J Pregnancy.* 2015;2015:e319204.
5. Geetha SK, Saraswathi K, Puri MS. Correlation of Amniotic Fluid Index (AFI) with Maternal and Perinatal Outcome in Antenatal Patients at Term Gestation. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology.* 2021;3587-3598.
6. Morris R, Meller C, Tamblyn J, Malin G, Riley R, Kilby M, et al. Association and prediction of amniotic fluid measurements for adverse pregnancy outcome: Systematic review and meta-analysis. *BJOG: An International J Obstet Gynaecol.* 2014;121(6):686-699.
7. Voxman EG, Tran S, Wing DA. Low Amniotic Fluid Index as a Predictor of Adverse Perinatal Outcome. *J Perinatol.* 2002;22(4):282-285.
8. Bachhav AA, Waikar M. Low Amniotic Fluid Index at Term as a Predictor of Adverse Perinatal Outcome. *J Obstet Gynecol India.* 2014;64(2):120-123.
9. Youssef AA, Abdulla SA, Sayed EH, Salem HT, Abdelalim AM, Devoe LD. Superiority of amniotic fluid index over amniotic fluid pocket measurement for predicting bad fetal outcome. *South Med J.* 1993;86(4):426-429.
10. Rainford M, Adair R, Scialli AR, Ghidini A, Spong CY. Amniotic fluid index in the uncomplicated term pregnancy. Prediction of outcome. *J Reprod Med.* 2001;46(6):589-592.
11. Chauhan SP, Magann EF, Doherty DA, Ennen CS, Niederhauser A, Morrison JC. Prediction of small for gestational age newborns using ultrasound estimated and actual amniotic fluid volume: Published data revisited. *Australian and New Zealand J Obstet Gynaecol.* 2008;48(2):160-164.
12. Nabhan AF, Abdelmoula YA. Amniotic fluid index versus single deepest vertical pocket as a screening test for preventing adverse pregnancy outcome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008;2008(3):CD006593.
13. Hackmon R, Bornstein E, Ferber A, Horani J, Green CP, Divon MY. Combined analysis with amniotic fluid index and estimated fetal weight for prediction of severe macrosomia at birth. *Am J Obstet Gynecol.* 2007;196(4):333-e1.
14. Driggers RW, Holcroft CJ, Blakemore KJ, Graham EM. An amniotic fluid index ≤ 5 cm within 7 days of delivery in the third trimester is not associated with decreasing umbilical arterial pH and base excess. *J Perinatology.* 2004;24(2):72-76.
15. Gratacós E. *Medicina fetal.* Ed. Médica Panamericana; 2007. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FVQx3av15f8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=son+la+principal+fuelle+d+producci%C3%B3n+de+orina+fetal,+mientras+que+la+degluci%C3%B3n+fetal+representa+aproximadamente+la+mitad+de+la+cantidad+total+de+1%C3%ADquido+eliminado+durante+el+tercer+trimestre,+en+donde+se+puede+observar+un+mayor+aumento+en+la+velocidad+y+cantidad+de+degluci%C3%B3n+de+1%C3%ADquido+en+comparaci%C3%B3n+con+la+micci%C3%B3n&ots=s1yCEsYFsv&sig=sWAGmd21-huuVGgRBsrXlzHo-Cw>