

**INCIDENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DE TRÁNSITO DE
VÍAS EN ALTA MONTAÑA Y DE BAJAS ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS
SOBRE LA ACCIDENTALIDAD
“CASO PLAN 2500: DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO”.**

*Carlos Fabian Flórez¹, Fredy Alberto Reyes²,
Laura Giraldo³, Omar Hernando Bernaf⁴, Leonardo Augusto Quintana⁵*

*Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
Calle 40 N°5-50 Ed. Gabriel Maldonado Piso 1. Departamento de Ingeniería Civil
Telefono 57-1-3208320 Ext. 5261 Fax. Ext. 5398
florez.carlos@javeriana.edu.co*

RESUMEN

En ésta investigación se estableció una relación entre el número de accidentes y el diseño geométrico de la vía para determinar si existía causalidad entre la geometría de la vía y dichos siniestros. En este campo muchos autores han utilizado diversos modelos estadísticos en busca de una relación entre estos dos aspectos ya mencionados, aunque la mayoría de estas investigaciones no llegan a resultados que muestren relaciones aceptables entre todas las variables geométricas viales con la accidentalidad, se pueden establecer patrones que logren establecer algún grado de causalidad. En este estudio se pretendía determinar la incidencia de parámetros geométricos y de tránsito, y el número de accidentes ocurridos en carreteras de alta montaña, específicamente utilizando como objeto de estudio algunas de

¹ Ingeniero Civil. Esp. y M.Sc., Investigador del Centro de Estudios de Carreteras y Transporte, (CECATA). Profesor Facultad de Ingeniería.

Pontificia Universidad Javeriana. floreز.carlos@javeriana.edu.co

² Ingeniero Civil. M.Sc. y Ph.D., Director del Centro de Estudios de Carreteras y Transporte, (CECATA). Profesor Facultad de Ingeniería.

Pontificia Universidad Javeriana. fredy.reyes@javeriana.edu.co

³ Estudiante Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. l.giraldo@javeriana.edu.co.

⁴ Estudiante Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. obernaf@javeriana.edu.co.

⁵ Ingeniero Industrial Ph.D., Director del Centro de Estudios en Ergonomía. Profesor Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana.

lquin@javeriana.edu.co

las vías intervenidas por el Plan 2500⁶ en el departamento de Quindío en el centro occidente de Colombia.

Como resultado del trabajo, se propone un modelo estadístico en donde se puedan relacionar las características geométricas de diseño con el número de accidentes que se producen en ella. Al no ofrecer el modelo estadístico resultados de alta correlación en la mayoría de las variables, se procedió a hacer una comparación mediante un método analítico basado en árboles de decisión para buscar patrones que puedan incidir en la presencia de estos siniestros viales.

PALABRAS CLAVE: factores de riesgo en accidentalidad en vías de alta montaña, seguridad vial en vías rurales, minería de datos en análisis de causalidad de accidentalidad.

1 INTRODUCCIÓN

En Colombia hasta la fecha, investigaciones orientadas a establecer causalidad entre características de la vía y los accidentes que se producen en ella no han existido, los estudios realizados se han limitado a los trabajos desarrollados por algunas universidades para entidades públicas, como las secretarías de tránsito y el Ministerio de Transporte y entidades privadas como el Fondo de Prevención Vial de Colombia. Dichos estudios se han enfocado en realizar diagnósticos descriptivos acerca de la accidentalidad vial.

En el año de 1983 en la Pontificia Universidad Javeriana, se llevó a cabo una investigación realizada por Fredy Reyes⁷ y Aura Fernández, acerca de la incidencia de las características geométricas de diseño en vías rurales, los resultados obtenidos en esta investigación fueron de gran satisfacción ya que se pudo establecer una

⁶ El Programa de Infraestructura Vial y Desarrollo Regional establecido por el Instituto Nacional de Vías de Colombia que pretendía pavimentar más de 2.500 Km de vías secundarias y terciarias del país fue llamado Plan 2500.

⁷ Co-Investigador del presente trabajo

correlación directa entre las características geométricas y su accidentalidad aplicando métodos de regresiones.

Consciente de la importancia de involucrar criterios de seguridad vial, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) decidió incluir para cada una de las vías intervenidas por el Plan 2500 la realización de una auditoria de seguridad vial, con el fin de mitigar en parte el aumento de los riesgos de accidentalidad, generados al mejorar tan solo la superficie de rodadura, manteniendo las carreteras en deficientes especificaciones geométricas⁸. El presente trabajo proporciona una herramienta valiosa a los auditores de seguridad de las carreteras, ya que les permite conocer cuales son los principales factores de riesgo que detonan la accidentalidad.

Además, por tratarse el Plan 2500 de un proyecto con un alcance tan limitado, y entendiendo que el INVIAS decidió incluir para cada una de estas vías la realización de una Auditoria de Seguridad Vial, cobra especial importancia el conocimiento de la incidencia del diseño mismo de la vía en la accidentalidad esperada, no solo para los fines propiamente técnicos de la auditoria, sino también para la creación de una cultura de seguridad vial y una concientización de todos los actores involucrados en un proyecto vial acerca de la importancia que tiene la detección en la etapa de diseños, construcción y antes de la puesta en operación, de los sectores con alto riesgo de accidentes, ya que hasta el momento en Colombia esta labor no se ha desarrollado, por un lado por la falta de cultura en el tema, y por otro lado, por las limitaciones mismas que tienen países en desarrollo como Colombia.

Por todo lo anteriormente mencionado, el establecimiento de relaciones de causalidad entre la geometría y los eventos de accidentes para carreteras de alta montaña y de especificaciones tan limitadas, se hace muy importante y pertinente para la realidad de la ingeniería nacional. Es importante aclarar, que se hace referencia a que las vías a

⁸ En dichas vías, la sección transversal existente no fue objeto de modificaciones, no se incluyó la construcción ni rehabilitación de puentes, se mantuvo el trazado geométrico existente y el ancho de las calzadas.

estudiar en el departamento de Quindío presentan bajas especificaciones, porque son vías que en su mayoría carecen de berma, tienen pendientes mayores del 4% simultáneamente con radios horizontales inferiores a los radios mínimos establecidos en el Manual de Diseño Geométrico Colombiano⁹.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se seleccionarán como vías objeto de análisis para el presente trabajo, las vías intervenidas por el Plan 2500, que se encuentran en el departamento del Quindío, las cuales presentan las condiciones que se pretenden estudiar. Dichas vías son:

- Armenia – Pueblo Tapao
- Filandia – Quimbaya
- La Española – Barragán – Génova

2 OBJETIVOS

2.1 General.

Determinar la incidencia de parámetros geométricos¹⁰ y de tránsito, y el número de accidentes ocurridos en carreteras de alta montaña, específicamente utilizando como objeto de estudio algunas de las vías intervenidas por el Plan 2500 en el departamento de Quindío, mediante el uso de modelos

⁹ Oficina de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico, Instituto Nacional de vías, INVIAS. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. 1998

¹⁰ Básicamente se trabajará con información referente a radios de curvatura horizontales, pendiente longitudinal, el ancho del carril y volúmenes del tránsito

2.2 Específicos.

- Analizar el historial de accidentalidad de las vías objeto de análisis en el departamento del Quindío. Además del análisis de estadística descriptiva, se clasificarán los accidentes teniendo en cuenta si generaron heridos, muertos o fueron sin víctimas.
- Localizar los registros de accidentalidad recolectados, en los planos geométricos de las vías Armenia – Pueblo Tapao, Filandia – Quimbaya y La Española – Barragán – Génova.
- Construir una base de datos que relacione la localización de los eventos de accidentes con las características de cada uno de los tramos en donde se presentaron dichos accidentes.
- Determinar los factores de riesgo de mayor incidencia en la ocurrencia de eventos de accidentalidad vial mediante modelos estadísticos y analíticos
- Establecer los aspectos de mayor incidencia en la accidentalidad, postulando las ecuaciones resultantes, de mayor relevancia, es decir aquellas que presentan las variables con una relación más significativa con la accidentalidad.

3 METODOLOGÍA

La metodología muestra todo el proceso que se realizó para desarrollar la investigación, por medio de la cual se llevó a cabo el análisis de datos que permitió llegar a determinar

conclusiones relevantes para futuros estudios que aborden dicha temática. A continuación se muestra paso a paso la metodología utilizada:

3.1 Recolección de información de accidentalidad.

Por medio del Instituto Departamental de Tránsito del Quindío IDTQ, se obtuvo el historial de accidentalidad de estas tres vías de los últimos 4 años; con esta información se creó una base de datos que posteriormente se analizó y organizó detalladamente para poder realizar los análisis de accidentalidad necesarios.

Dicho Instituto no contaba con un sistema de información, que permitiera acceder de manera fácil a los registros de accidentalidad, de tal manera que dentro de esta investigación se digitaron y sistematizaron en matrices, cada uno de los informes de los accidentes reportados por la policía vial, ocurridos en las vías objeto de estudio durante los años 2004 a 2007.

3.2 Recolección de información de estudios y diseño.

Por medio de la Consultoría de apoyo al Instituto Nacional de Vías INVIAS, se recolectaron los planos de diseño geométrico de las tres vías de estudio, estos planos son copias de los originales pertenecientes a los estudios y diseños elaborados en el marco del plan 2500. Con respecto a la recolección de la información del tránsito esta se extractó de los estudios de tránsito de cada una de las vías, realizados durante el mismo plan de intervención.

3.3 Visita de campo

Por medio de la visita de campo y el recorrido minucioso de cada una de las vías, se localizaron los registros de accidentalidad obtenidos a lo largo de cada una de las vías de estudio; facilitando así el análisis de accidentalidad que se hizo más adelante relacionando el diseño de la vía con cada evento ocurrido.

3.4 Análisis de características geométricas y de tránsito

Una vez ubicado el accidente sobre la vía, se procedió a extraer los principales datos de interés para el análisis de cada uno de los planos, tales como: pendientes longitudinales, radios de curvatura horizontal, anchos de calzada, etc.

3.5 Análisis de accidentalidad.

Teniendo los datos anteriores obtenidos del historial de accidentalidad y de los planos de diseño geométrico de las vías se procedió a realizar tablas independientes para cada vía, de tal manera que se pudiesen realizar los análisis de regresión para cada vía, además se presentan todas las consideraciones hechas y las ecuaciones correspondientes a cada matriz analizada.

3.6 Determinación de las variables utilizadas en las regresiones

Para la determinación de las variables que formaron parte del análisis se tuvo en cuenta el estudio realizado en la investigación previa (Reyes y Hernández, 1983), en el cual se

determinaron que incidencias tenían las características geométricas de las vías rurales en la accidentalidad. En este estudio las variables que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes: ancho de calzada, la pendiente longitudinal, el peralte, el grado de curvatura y el tránsito promedio diario. Teniendo en cuenta que el presente estudio está enfocado a vías secundarias y terciarias, se tuvieron en cuenta las variables consideradas en la investigación previa.

La ecuación de regresión lineal múltiple que se busca es de la forma:

$$Y = (k_1 \times X_1) + (k_2 \times X_2) + \dots + (k_n \times X_n)$$

Donde:

Y = Número de accidentes.

X1 = Ancho de carril.

X2 = Pendiente longitudinal.

X3 = Peralte

X4 = Radio de curvatura.

X5 = TPD.

Al realizar las regresiones, la herramienta computacional proporciona los coeficientes K_n que afecta a las variables independientes y que constituyen la ecuación buscada. Este programa proporciona valores estadísticos de los cuales solo se considerará básicamente el coeficiente de determinación R^2 , como el indicador relevante.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

Después de ser establecidas las matrices base, fueron hechas las primeras regresiones múltiples, en las cuales se esperaba obtener un coeficiente de determinación R^2 mayor

a 0.50, para así poder vislumbrar alguna relación de las variables analizadas con el numero de accidentes.

Los resultados obtenidos en las regresiones realizadas, mostrados en la Tabla 4.1, nos arrojaron datos aceptables para dos (2) de las tres (3) vías analizadas, no obstante, se planteó hacer una reestructuración de matrices, en las cuales solo se tendrían en cuenta las variables con mas incidencia según su coeficiente y algunos aspectos que preliminarmente se suponía podrían tener una influencia relevante en la accidentalidad; resultando así algunas regresiones simples, entre el número de accidentes y el ancho de carril, y análisis por tramos rectos y curvos.

Tabla 4.1. Ecuaciones Resultantes de la regresión múltiple con todas las variables.

VÍA	GRUPO	COEFICIENTES						
		K0	K1	K2	K3	K4	K5	R ²
Armenia - Pueblo Tapao	Matriz total	-9.995	4.733	0.03	0.13	-0.003	-0.002	0.501
Filandia - Quimbaya	Matriz total	-19.496	-0.686	-0.034	-0.07	0.005	0.096	0.193
La Española - Barragán - Génova	Matriz total	0.163	0.266	-0.111	0.061	-0.001	0	0.58
Todas las vías	Matriz General	-0.286	0.416	-0.035	-0.3	0	0	0.126

A continuación se muestra la Tabla 4.2 en la cual están consignados los resultados de este segundo grupo de regresiones:

Tabla 4.2. Ecuaciones Resultantes, regresión simple entre el número de accidentes y el ancho de carril.

VÍA	GRUPO	COEFICIENTES		
		K0	K1	R ²
Armenia - Pueblo Tapao	Matriz	-8.347	3.245	0.242
	total			
Filandia - Quimbaya	Matriz	0.526	0	0.055
	total			
La Española - Barragán - Génova	Matriz	-0.735	0.473	0.191
	total			
Todas las vías	Matriz	-0.608	0.486	0.042
	General			

Los resultados de este análisis no fueron buenos, debido a que no estaban entre el rango que se considera aceptable, por lo que se decidió hacer una nueva matriz en la cual los accidentes fueron divididos respecto al alineamiento de la vía, es decir, tramos curvos y tramos rectos. Los resultados de estas regresiones se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Ecuaciones Resultantes, regresión por alineamiento (recto o curvo)

VÍA	GRUPO	COEFICIENTES						
		K0	K1	K2	K3	K4	K5	R ²
Armenia - Pueblo Tapao	Curva	-1.328	3.797	0.42	0.073	-0.003	-0.005	0.573
	Recta	-4.985	1.98	-0.008	0	0	-0.005	0.0042
Filandia – Quimbaya	Curva	12.115	6.29	0.162	0.406	-0.01	-0.141	0.397
	Recta							
La Española - Barragán – Génova	Curva	-2.784	-0.95	0.07	0.578	0.011	-0.002	0.998
	Recta							
Todas las vías	Curva	4.427	-0.106	-0.083	-0.407	-0.003	0	0.702
	Recta	-1.944	0.926	-0.016	-0.34	-0.003	0.001	0.196

Al realizar el análisis de características geométricas y de tránsito, en el cual se estudiaron uno a uno los datos de accidentalidad en cada vía, los resultados se consideran satisfactorios, sin embargo, se consideró relevante involucrar en el análisis condiciones particulares de la carretera en el momento del accidente , tales como el estado del clima y el estado del pavimento; para involucrar estas nuevas variables, se propuso el uso de una nueva herramienta que tuviese en cuenta estas variables no numéricas y su relación con el número de accidentes.

4.1 Modelos analíticos de árboles de decisión

Mediante el software WEKA, se buscó relacionar las diferentes variables mediante árboles de decisión, utilizando una metodología de minería de datos, buscando

patrones de un grupo de datos relacionados entre sí, y así poder llegar a una conclusión analítica.

La primera parte consistió en tomar la matriz base adicionando las variables no numéricas y observar el comportamiento analítico, para la nueva matriz se tomaron rangos entre valores buenos, regulares y malos según la variable geométrica. Tabla 4.4

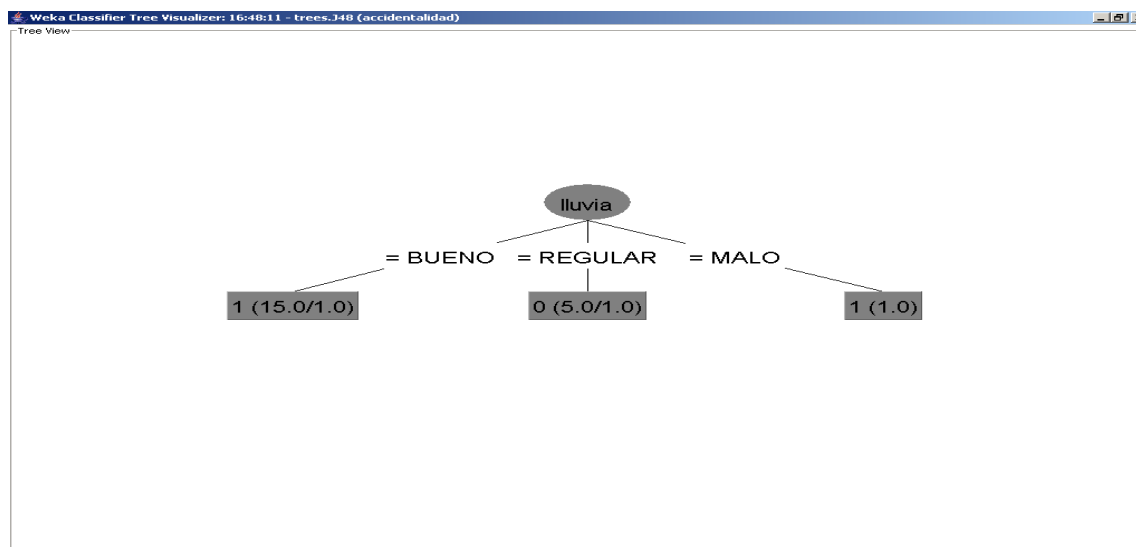
Tabla 4.4. Rango de valores para árbol de decisión.

ANCHO DE CARRIL (m)	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	PERALTE (%)	RADIO DE CURVATURA (m)
Aceptable > 3	Aceptable < 2	Aceptable < 2	Aceptable > 500
Regular = 3	Regular entre 2 - 5	Regular entre 2 - 5	Regular entre 500 y 200
Malo < 3	Malo > 5	Malo > 5	Malo < 200

Mediante este método se logró establecer una secuencia lógica de los principales factores que afectan la accidentalidad en las vías dando como resultado que la variable que mas influye es el estado del tiempo.

Con la misma matriz pero anulando la variable climatología, el modelo mostró que la segunda variable a contemplar era el estado del pavimento, de allí se desprendían las otras variables independientes.

Figura 4.1. Árbol de decisión Matriz Armenia Pueblo – Tapao Modelo J 48.

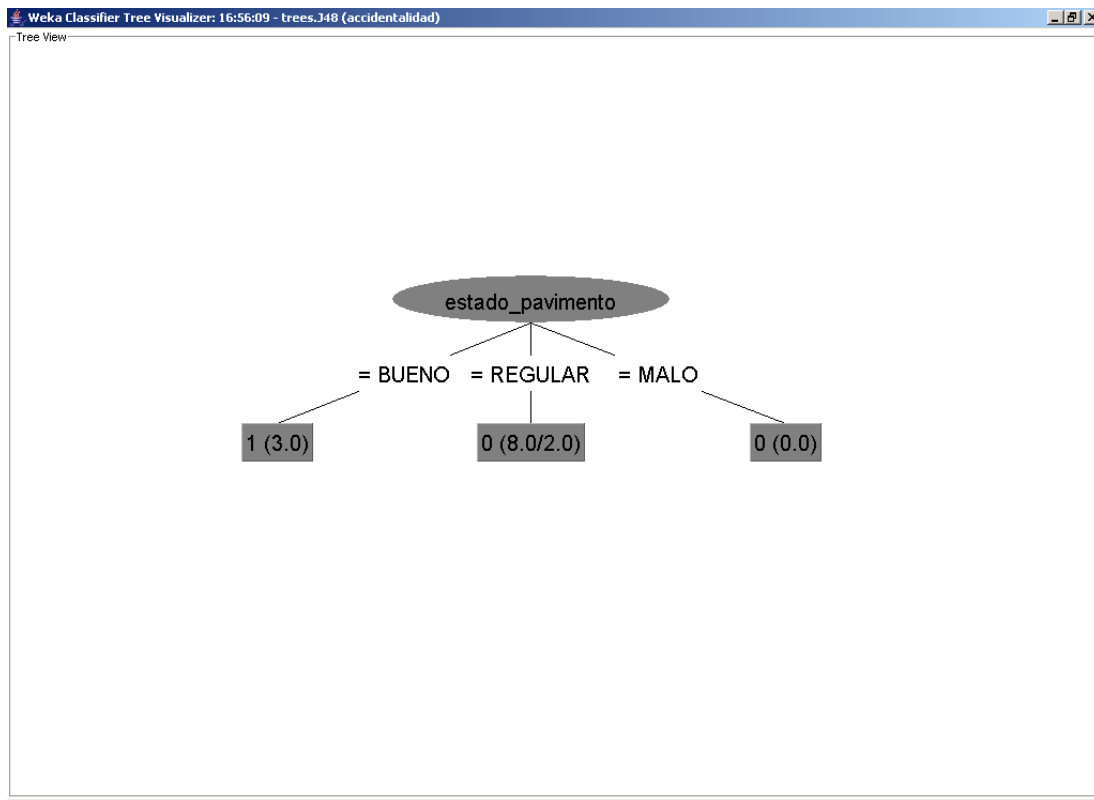


Nota: El modelo hace referencia a la lluvia de la siguiente manera; Malo: Sin presencia de lluvia; Regular: Con lluvias aisladas; y Bueno: Con presencia de lluvia.

Resultados de la calibración del modelo

<i>Correctly Classified Instances</i>	19	90.4762 %
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	2	9.5238 %
<i>Kappa statistic</i>	0.768	
<i>Mean absolute error</i>	0.0817	
<i>Root mean squared error</i>	0.2137	
<i>Relative absolute error</i>	38.1552 %	
<i>Root relative squared error</i>	68.1621 %	
<i>Total Number of Instances</i>	21	

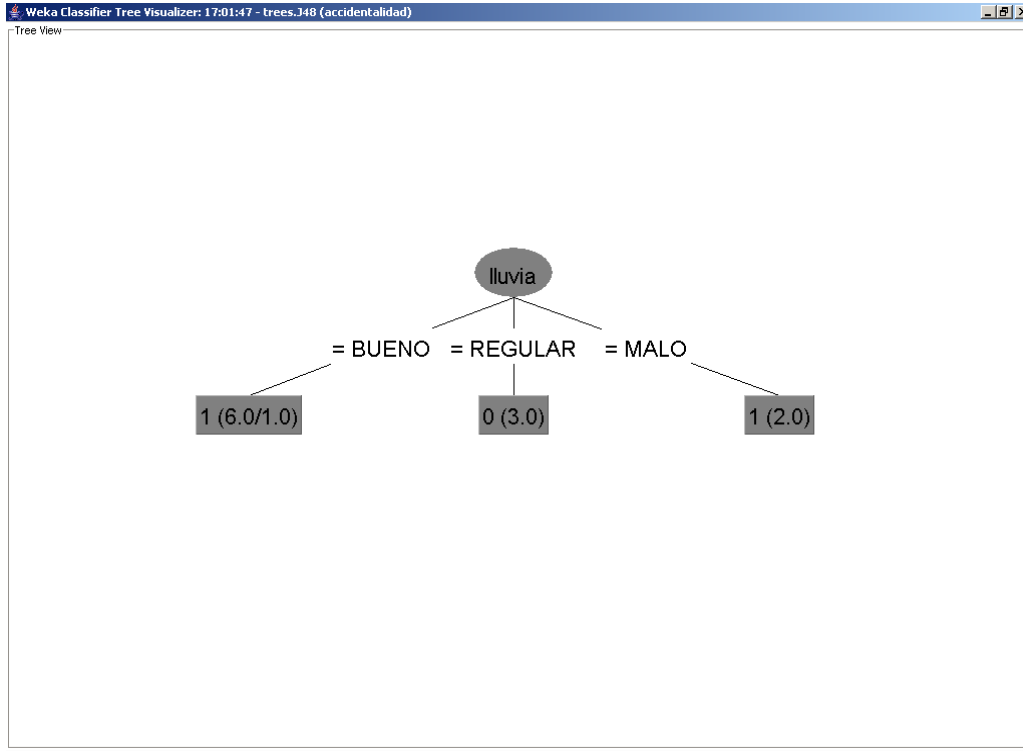
Figura 4.2. Árbol de decisión Matriz Filandia – Quimbaya Modelo J 48.



Resultados de la calibración del modelo

<i>Correctly Classified Instances</i>	9	81.8182 %
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	2	18.1818 %
<i>Kappa statistic</i>	0.6563	
<i>Mean absolute error</i>	0.1091	
<i>Root mean squared error</i>	0.2335	
<i>Relative absolute error</i>	41.3793 %	
<i>Root relative squared error</i>	66.5896 %	
<i>Total Number of Instances</i>	11	

Figura 4.3. Árbol de decisión Matriz La Española – Barragán – Génova Modelo J 48.



Nota: El modelo hace referencia a la lluvia de la siguiente manera; Malo: Sin presencia de lluvia; Regular: Con lluvias aisladas; y Bueno: Con presencia de lluvia.

Resultados de la calibración del modelo

<i>Correctly Classified Instances</i>	10	90.9091 %
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	1	9.0909 %
<i>Kappa statistic</i>	0.8036	
<i>Mean absolute error</i>	0.0606	
<i>Root mean squared error</i>	0.1741	
<i>Relative absolute error</i>	25.1572 %	
<i>Root relative squared error</i>	52.9465 %	
<i>Total Number of Instances</i>	11	

5 LIMITACIONES ENCONTRADAS

Una de las principales limitaciones que se encontró en la elaboración de este trabajo de investigación, fue indudablemente la falta de información durante más años, en la serie histórica de accidentalidad en las vías del departamento del Quindío.

La forma en la cual se encuentra la información, es muy precaria, ya que los informes de accidentes se encuentran en cajas, y no están separados por años, tipos de accidente o vías; debido a ésta situación la recolección de la información fue un procesos engorroso.

Al hacer la visita de campo y el recorrido de cada una de las vías para la posterior ubicación de los accidentes en los planos de diseño geométrico, se excluyeron algunos accidentes debido a que no se encontraban ubicados sobre la vía, si no en vías veredales aledañas.

6 PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Se determinó que si existe una correlación entre el número de accidentes y las características geométricas de las vías en carreteras de alta montaña y bajas especificaciones en el departamento de Quindío. Ya que las correlaciones hechas presentaron resultados satisfactorios para dos de las tres vías analizadas.
- Se determinó por medio de un análisis de regresión múltiple que existe una evidente relación entre la accidentalidad y las características geométricas de la vía, con un mayor nivel de correlación para tramos curvos que para tramos rectos, entendiéndose que dadas las deficientes especificaciones de las carreteras de estudio, los tramos curvos aumentan el riesgo de presentar accidentes de tránsito.

- Al analizar los árboles de decisión se encontró que las dos variables (presencia de lluvia y estado del pavimento) que son cualitativas, tuvieron la mayor influencia en la presencia de accidentes, por lo tanto sería recomendable para futuras investigaciones involucrarlas en los modelos de causalidad de accidentalidad.
- La secuencia lógica que arrojó el modelo analítico utilizado es de gran ayuda para prevenir futuros accidentes ya que va encadenando las diferentes variables contempladas en la matriz y su grado de importancia. Además permite detectar registros “atípicos”, que mediante el análisis de regresión convencional, no se podrían detectar.
- Los resultados de esta investigación se muestran de una forma entendible para que las personas que no conozcan sobre el tema y que tengan que ver con la gestión de la seguridad vial en las carreteras, tengan facilidad de comprender la problemática que presenta la vía
- Los indicadores arrojados por el modelo analítico, se consideran satisfactorios ya que se encuentran en un intervalo aceptable.
- El modelo analítico arrojó que los accidentes están relacionados de manera directa con la presencia de lluvia, dado que un mal estado del tiempo, influye en la visibilidad y en la efectividad de los frenos del vehículo.
- El modelo analítico arrojó que los accidentes están relacionados de manera directa con el buen estado del pavimento, dado que un buen estado de la superficie de rodadura en vías con alineamientos sinuosos, influye en la presencia de velocidades de operación superiores a las velocidades de diseño, aumentando el riesgo de presentar accidentes.
- Las vías objeto de la presente investigación, presentan factores de riesgo relevantes de presentar accidentalidad, dado que la intervención realizada en el Plan 2500 fue tan limitada. Es importante involucrar elementos que contribuyan a la seguridad vial.
- Se analizó el historial de accidentalidad de cada una de las tres vías, en el cual se encontraron altas deficiencias respecto a la forma en la cual se encontraba y mantenía los registros históricos de accidentalidad.

- Se ubicaron los lugares en los cuales se presentaron los accidentes en cada uno de los planos geométricos correspondientes a las tres vías; esto por medio de la visita de campo, debido a que la relación del sitio del accidente reportada en el informe de accidentes no especificaba claramente la abscisa en la cual ocurrió el accidente.
- A partir de la localización de los accidentes en los planos de las respectivas vías, se construyó una base de datos organizada por kilómetro, en la cual se tuvo en cuenta las diferentes características geométricas de la vía y al mismo tiempo atributos tales como estado del pavimento y el clima presente en el momento del accidente.
- Se considera necesario que las entidades gubernamentales encargadas de planes viales tales como el plan 2500, tengan en cuenta las consecuencias que puedan traer la puesta en marcha de tales proyectos; como es el caso particular de estas intervenciones, ya que al mejorar tan solo la superficie de rodadura se generará indudablemente mayores velocidades de operación, por lo que se aumenta el riesgo que se presenten eventos de accidentalidad; sería recomendable, hacer proyectos viales integrales, así las metas de kilómetros intervenidos sean menores.
- La construcción de un sistema de vigilancia epidemiológica de accidentalidad vial es fundamental para permitir a las entidades encargadas, hacer un monitoreo riguroso de la evolución de los accidentes, y tener una verdadera política de salud pública sobre la seguridad vial en Colombia.
- Se considera que los resultados obtenidos, son una valiosa base para desarrollar mas investigaciones de esta índole, ya que los resultados en otras regiones del país podrían llegar a ser diferentes por factores humanos, que podrían influenciar un manejo diferencial por parte de los conductores.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. 2000. **Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones**. Editorial Alfaomega, 7ª Edición. Ciudad de México, México.

- Garber, N, Hoel, J y Lester, A. 2005 **Ingeniería de Tránsito y Carreteras**, Editorial Thomson, 3ª Edición. Ciudad de México, México.
- Karlaftis, M y Golias, L. 2002. **Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accidents rates**. Accident Analysis and Prevention 34 (2002) 357-365.
- Kim, D, Lee, Y, Washington, S y Choi, K. 2007. **Modeling crash outcome probabilities at rural intersections**: Application of hierarchical binomial logistic models. En: EL SEVIER. Accident Analysis and Prevention 39 (2007) 125–134.
- Kraemer, C, Pardillo, M, Rocci, S, Romana, M y Sánchez, V. 2003. **Ingeniería de Carreteras**. Editorial Mc. Graw Hill. 1º Edición (en español), Volumen I. Madrid, España
- Oficina de investigaciones y desarrollo tecnológico. Instituto Nacional de Vías, INVIAS. 1998. **Manual de Diseño Geométrico para Carreteras**. Bogotá, Colombia
- Oglesby, C y Hewes, L. 1980. **Ingeniería de carreteras calles, viaductos y pasos a desnivel**. Traducción de la según edición en ingles; Compañía Editorial Continental, S. A. Ciudad de México, México.
- Reyes, F. y Fernández, A. 1983. **Incidencia de las características geométricas de diseño de las vías rurales en la accidentalidad**. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.