

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO, IMPLEMENTANDO GEOCELDAS
PARA MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE LA VÍA UBICADA
ENTRE K10+500 Y K11+500 EN SAN JOSÉ DEL GUAVIARE-GUAVIARE**



Por:
MILLER ESCARRAGA LOPEZ
MARIA PAULA MEJIA ROMERO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO, IMPLEMENTANDO GEOCELDAS
Y SUELO CEMENTO, PARA MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO
DE LA VÍA UBICADA ENTRE K10+500 Y K11+500 EN SAN JOSÉ DEL GUAVIARE-
GUAVIARE**



Por:
MILLER ESCARRAGA LOPEZ
MARIA PAULA MEJIA ROMERO

Aprobado por:

I.C. Jessica Ramírez Cuello M.Sc.
Director

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019

Nota de aceptación

ING. JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D
Decano Facultad de Ingeniería Civil

I.C JESSICA MARIA RAMIREZ CUELLO M.Sc
Director

I.C JUAN MANUEL SALGADO DIAZ M.Sc.
Jurado

Villavicencio, 31 de Julio del 2019

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. José Gabriel MESA ANGULO, O.P.
Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O.P.
Vicerrector Académico General

P. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.
Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN
Secretaria General de División Sede Villavicencio

ING. JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

RESUMEN

Hoy día, al momento de diseñar y construir una estructura de pavimento encontramos que, en su mayoría los suelos que soportan las capas de dicha estructura presentan una capacidad portante baja, debido a esto, si no se realiza una estabilización o mejoramiento acorde a las características del terreno, puede ocasionar que las vías presenten ahuellamiento a corto plazo o se fatiguen, lo cual conlleva a costos elevados de las obras y más demoras en la construcción.

Por lo anterior, nace la necesidad de implementar diferentes materiales que logren estabilizar y mejorar las propiedades mecánicas del suelo y así lograr una estructura de pavimento más resistente a los cambios climáticos y el parque automotor.

En la siguiente investigación queremos enfocarnos en la utilización de geoceldas para aumentar la resistencia y disminuir la plasticidad del suelo, mejorando la capacidad portante del mismo.

Palabras Clave: *Capacidad portante, Estructura de Pavimentos, Geoceldas, Mejoramiento de Suelos, Subrasante.*

ABSTRACT

Nowadays, when designing and building a pavement structure, we find that, for the most part, the floors that support the layers of said structure have a low bearing capacity, due to this, if a stabilization or improvement is not carried out according to the characteristics of the land, it can cause the roads to present short-term collapse or become fatigued, which leads to high construction costs and more construction delays.

Therefore, the need is born to implement different materials that stabilize and improve the mechanical properties of the soil and thus achieve a pavement structure more resistant to climatic changes and the automotive fleet.

In the following investigation we want to focus on the use of geocells to increase the resistance and decrease the plasticity of the soil, improving its bearing capacity.

Key Word: *Carrying capacity, Pavement Structure, Geocells, Soil Improvement, Subgrade.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
3.	JUSTIFICACIÓN.....	14
4.	OBJETIVOS.....	15
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5.	ALCANCE.....	16
6.	MARCO DE REFERENCIA	17
6.1.	MARCO TEÓRICO	17
6.1.1	SUB-RASANTE.....	17
6.1.2	METODO IVANOV.....	17
6.1.3	TRANSITO	18
6.1.4	DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS, METODOLOGÍA SHELL.....	18
6.1.5	PARÁMETROS DE MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.....	20
6.1.6	GEOCELDA.....	21
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	22
6.2.1	PAVIMENTO FLEXIBLE	22
6.2.2	DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS.....	22
6.2.3	METODOLOGÍA SHELL	22
6.2.4	BASE.....	23
6.2.5	TIPOS DE BASE.....	23
6.2.6	PRINCIPALES FUNCIONES DE LA BASE.....	24
6.2.7	SUBRASANTE	24
6.2.8	PROGRAMA DEPAV	24
6.3.	MARCO NORMATIVO.....	25
6.4.	MARCO GEOGRÁFICO	26
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	28
8.	METODOLOGIA	29
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	29
8.1.1	ETAPA 1, ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	30
8.1.2	ETAPA 2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	31
9.	RESULTADOS	33
9.1.	ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN LA VEREDA TROCHA GANADERA.....	33
9.2.	ESTUDIO DE TRANSITO.....	39
9.2.1	COMPOSICION VEHICULAR.....	40
9.3.	ESTUDIO DE SUELOS	43
9.3.1	DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	43
9.3.2	TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO.....	43
9.3.3	NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES.....	43
9.3.4	RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	44
9.3.5	LIMITES DE CONSISTENCIA	44

9.3.6	LIMITES DE ATTEMBERG	48
9.3.7	CBR DE LABORATORIO	50
9.4.	CLIMA.....	50
9.4.1	Temperatura.....	51
9.4.2	Precipitación.....	55
9.5.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	57
9.5.1	Diseño del pavimento con Geoceldas	59
10.	RESULTADOS E IMPACTOS	62
11.	CONCLUSIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1 Factor Daño por tipo de vehículo	18
Tabla 6.2 Factor de Distribución de Carril	18
Tabla 6.3 Parámetros entrada evaluación elástica.....	21
Tabla 6.4 Marco Normativo	25
Tabla 6.5 Datos Geográficos.....	26
Tabla 7.1 Equipo de Investigación y trayectoria	28
Tabla 10.1 Resultados e Impactos	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Geoceldas	21
Ilustración 2 Mapa Geográfico del Departamento del Guaviare	27
Ilustración 3 Metodología	29
Ilustración 4 Carta de Plasticidad	49
Ilustración 5 Estructura de Pavimento	60

LISTA DE GRAFICA

Grafica 1 Nivel de Escolaridad	33
Grafica 2 Actividad principal y/o Complementaria	34
Grafica 3 Fuente Principal de Ingresos	35
Grafica 4 Venta de la Producción	35
Grafica 5 Problemas de Comercialización	36
Grafica 6 Medio De Transporte Más Utilizado	36
Grafica 7 Servicios Públicos de la Zona	37
Grafica 8 Tiempo de llegar a la puesto de salud en caso de emergía.....	38
Grafica 9 Lluvias.....	38
Grafica 10 Composición Vehicular	41
Grafica 11 Limite Liquido.....	45
Grafica 12 Limite Liquido.....	46
Grafica 13 Limite Liquido.....	48

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de las vías terrestres juegan un papel fundamental en el desarrollo regional y nacional de cualquier país y constituye uno de los principales factores de desarrollo económico de una región, puesto que la mayor parte de las actividades económicas se llevan a cabo a través del sistema terrestre automotor, que van desde las zonas rurales a la ciudad por lo cual es de gran importancia el hecho de ofrecer vías de acceso con adecuadas características de operación, que permitan realizar dichas actividades de manera rápida, económica, cómoda y segura.

El municipio de San José del Guaviare, en su área rural cuenta con 1.200 km de red vial de las cuales solo el 20 % se encuentran estabilizados con asfalto líquido natural que se encuentra en MC 250 y un SC 250; y el 80% de las vías se encuentran afirmado en regular estado. El sistema vial terrestre terciario presenta serios problemas en cuanto a movilidad, debido principalmente a las características del terreno, por lo cual la malla vial del departamento se encuentra en mal estado, provocando que en época de invierno las vías sean intransitables debido a las altas precipitaciones y las características del terreno, esto dificultando la movilidad de las personas que desean sacar sus producciones agrícolas, ganaderas y además dificultad para acceder a los servicios de salud y educación.

Por lo anterior, se ve necesario contar información geotécnica, climática y de tránsito para el diseño de la estructura de pavimento flexible implementando geoceldas con el fin de proporcionarle estabilidad a la estructura ya que este material tiene como objetivo mejorar la capacidad portante del suelo existente; buscando beneficios durante la intervención de la vía como lo es: disminución del tiempo de ejecución, menor inversión presupuestal, amigable con el medio ambiente y disminuye la continua explotación de cantera. Cumpliendo con la normatividad del INVIAS y la ASTM (D1505-D5397-D1603-D5199) que se exige para las vías terciarias esto con el fin de brindarle a la comunidad vías de acceso rápidas y seguras para contribuir positivamente al desarrollo socio-económico del municipio, a través de una adecuada infraestructura vial.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la vía ubicada entre el K10+500 y K11+500 en el municipio de San José de Guaviare departamento del Guaviare, es un punto crítico que presenta una difícil comunicación terrestre de la población rural con la urbana, dado que las vías están en mal estado, intransitables, con restricciones de tránsito y falta mantenimiento. Algunas de las vías tienen deterioro de la superficie para la circulación de vehículos o no han sido atendidos los puntos críticos que se encuentran entre (K7+250-K7+300) (K8+560-K8+590) y (K15+030 –K15+060) [1].

Por lo anterior, se han venido generando congestiones en la vía y retrasos en actividades como el acceso oportuno a servicios médicos, aumento en los costos de transporte de carga y pasajeros, también inasistencia de estudiantes a escuelas y colegios, junto con un incremento de los precios de los productos de la región [2].

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el municipio de San José del Guaviare- Guaviare, específicamente en la vereda Trocha Ganadera, se ha venido presentando una situación bastante compleja; puesto que existe una vía secundaria, que inicia en la vereda Agua bonita y termina en las sabanas del Nare, pero que se encuentra en condiciones no aptas para el tránsito. Estas condiciones particulares elevan el costo del comercio y dificultan el acceso a diversos bienes, tales como servicio de salud, educación y nuevas oportunidades laborales; ya que este corredor vial es de vital importancia porque una de sus mayores fuentes de producción de la zona es el ganado de ceba y palma, esta carretera constantemente se ve perjudicada por los efectos del clima, afectando a productores que ven escasas las posibilidades de traslados de sus productos a distintas parte del país, principalmente a la capital [3].

De acuerdo a las estadísticas del DANE 2005, el 61,3% de la población ubicada en la zona rural del Guaviare posee necesidades básicas insatisfechas (NBI) como viviendas con niños en edad escolar que no asisten a la escuela y viviendas con servicios inadecuados [4], esto como consecuencia a la escasa presencia del estado en este territorio; el insuficiente desarrollo de la agricultura y la industria, es debido a la falta de vías que cumplan con las condiciones aceptables para poder transitar, ya que estas no poseen drenajes longitudinales y muy pocos transversales esto provocando que en épocas de lluvia se deteriore con rapidez la superficie de rodadura.

3. JUSTIFICACIÓN

Por mandato constitucional según el artículo 366 y en concordancia con el artículo 5 de la ley 142 de 1994, es deber del estado a través de la administración pública, mejorar la calidad de vida de la población mediante la gestión y ejecución de obras viales.

De acuerdo a esto, se busca mejorar las condiciones del suelo en la estructura de la vía, utilizando Geoceldas, ya que es una técnica eficaz e innovadora que proporcionara al suelo una mayor estabilidad, mitigando el riesgo de afectación vial y optimizando la calidad de los materiales; para que la comunidad pueda mejorar la economía ya que gira alrededor del sector agropecuario con un (14%) entre ellos están la explotación forestal de un (13%), la pesca, y en los últimos años, la ganadería y la agricultura con un (13%), las que han tenido un gran impulso; Los principales cultivos son plátano, yuca, cacao, caña miel y caucho. Se destaca la ganadería extensiva o semi - intensiva en las planicies de tierra firme [5]. Pero debido a la falta de vías de comunicación la ganadería y la agricultura se han visto muy afectadas en las épocas de invierno.

La red vial del departamento del Guaviare se compone de un eje principal que comunica los municipios de San José, El Retorno y Calamar, y una red secundaria que conecta las inspecciones de policía con las cabeceras de mayor importancia económica; esta misma vía conecta al departamento con la red vial nacional entre San José del Guaviare y Granada (Meta). Debido a los antecedentes mencionados se pretende hacer mejoramiento implementando geoceldas para la obtener una mejor capacidad portante de la infraestructura vial ya que no cumplen con la normatividad vigente; puesto que nunca se han realizado trabajos de mejoramiento y estabilización a la vía que comprende desde la vereda agua bonita hasta sabanas del Nare.

Año tras año la secretaria de Infraestructura departamental del Guaviare, invierte alrededor de \$10´743.776.810, en el mejoramiento de las vías terciarias en San José del Guaviare [4]; pero no está supliendo las necesidades de la zona a largo plazo, llevando a dicha intervención anual. Esto debido a las precipitaciones elevadas, lo cual requiere de intervenciones que traten el nivel freático y la capa de rodadura de la estructura de pavimento.

Teniendo en cuenta lo anterior se pretende mejorar de una manera estable, eficaz, rápida y duradera las condiciones que presenta el suelo, cumpliendo con las características óptimas para el tránsito, con el fin de brindar mejores condiciones de transitabilidad.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estructura de pavimento flexible implementando geoceldas como material de confinamiento; cumpliendo con las especificaciones técnicas del INVIAS y las Normas ASTM

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar los problemas de movilidad que se presentan en la zona de estudio.
- ✓ Identificar las condiciones que tiene el suelo mediante ensayos de laboratorio teniendo en cuenta la normatividad INVIAS.
- ✓ Calcular el número de ejes equivalentes teniendo en cuenta un aforo vehicular.
- ✓ Determinar el espesor de mejoramiento de la subrasante mediante la metodología IVANOV.
- ✓ Establecer los espesores de diseño empleando la metodología racional.

5. ALCANCE

El alcance del presente proyecto, corresponde a entregar una alternativa de diseño de pavimento flexible mediante el empleo de la metodología racional, definiendo para ello espesores y materiales apropiados a instalar de acuerdo a las condiciones del proyecto, esto a partir de la identificación y caracterización de los materiales que conforman la Subrasante y material granular existente, la determinación y caracterización a partir de ensayos de laboratorio de las propiedades físicas y mecánicas más importantes de dichos materiales, la identificación de las condiciones climáticas a lo largo del proyecto y la estimación del tránsito (Número de repeticiones) que se espera va a circular por la vía en el período de diseño contemplado.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 SUB-RASANTE

La Sub-rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. La respuesta de la sub-rasante ante las cargas del tránsito depende de los tipos de suelo que la constituyen y de la densidad y la humedad de ellos, tanto durante la construcción como durante el servicio

6.1.1.1 Módulo Resiliente: la elasticidad para subrasantes es un parámetro de gran importancia para entender el agrietamiento (por fatiga) de las superficies de asfalto y que la carga monotónica podría no ser la adecuada para su determinación.

$$M_r = 10CBR (MPa)$$

Ecuación 1 Modulo Resiliente

6.1.2 METODO IVANOV

Esta metodología nos permite establecer el espesor de mejoramiento en una estructura de pavimento, proporcionados por una ecuación para el cálculo de la capacidad portante equivalente del material de apoyo de la estructura, para lo cual podemos utilizar la siguiente ecuación, con el cual podemos determinar el valor de capacidad equivalente.

$$E1-2 = \frac{E2}{1 - \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{n \cdot h1}{2a}\right)} \quad n = \sqrt[2.5]{\frac{E1}{E2}}$$

Ecuación 2 Método Ivanov

Donde:

a: radio del área cargada (15 cm)

hrajón: espesor de la capa de rajón (cm)

Eeq: módulo equivalente del sistema con rajón (kg/cm²)

Erajón: módulo del Rajón (kg/cm²)

6.1.3 TRANSITO

La determinación del tránsito de diseño para el proyecto, se realizó con base en las proyecciones de Tránsito Promedio Diario (TPD)

$$N_{8.2} = TPD \frac{k_1}{100} \times \frac{k_2}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} FC$$

Ecuación 3. Número de Vehículos Pesados

Tabla 6.1 Factor Daño por tipo de vehículo

TIPO DE VEHÍCULO	FACTOR DAÑO
Bus	1.00
C2P	1.14
C2G	3.44
C3 – C4	3.76
C5	4.40
>=C6	4.72

Fuente: Pavimentos Materiales y construcción

Se deben presentar el factor de distribución de carril de acuerdo con la tabla 6.3

Número total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca)
1	1.00
2	0.90
3	0.75

Tabla 6.2 Factor de Distribución de Carril
Fuente: Pavimentos Materiales y construcción

6.1.4 DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS, METODOLOGÍA SHELL

6.1.4.1 Criterio De Agrietamiento Por Fatiga Shell

El cálculo de la deformación admisible se realizó aplicando la ley de Shell:

$$\varepsilon_t = (0.856V_b + 1.08)E_1^{-0.36} \left(\frac{N_{dis}}{K} \right)^{-0.2}$$

Ecuación 4 Método Shell

Dónde:

ε_t : Deformación máxima a tracción bajo las capas asfálticas

V_b : Volumen de asfalto de la mezcla (%) – ($V_b = 11\%$)

E_1 : Modulo dinámico de la mezcla asfáltica (N/m^2)

N_{dis} : Ejes equivalentes de 8.2 ton para el periodo de diseño

K Coeficiente de Calage (se incluye criterio del método australiano de diseño)
– ($K=10.0$)

La ecuación de fatiga de la SHELL fue desarrollada para una confiabilidad del 50%. El método australiano¹ de diseño de pavimentos presenta un criterio adicional de confiabilidad que consiste en escoger un factor de desplazamiento para un determinado nivel de confiabilidad. Teniendo en cuenta la importancia del proyecto, el nivel de confiabilidad corresponde al 50%.

De la ecuación anterior, se despeja el valor de los ejes equivalentes de 8.2 ton que admite la estructura de pavimento diseñada, para la deformación por tracción actuante en la fibra inferior de la capa asfáltica. Dicho número de ejes que admite la estructura, se comparará con el número de ejes equivalentes de 8.2 ton proyectados para el periodo de diseño en el carril de diseño. Mediante dicha comparación se determinará el porcentaje de consumo de vida a la fatiga, el cual deberá ser inferior al 100%, para concluir que la estructura modelada puede soportar el número de repeticiones esperadas.

6.1.4.2 Criterio de deformación permanente sobre la Subrasante

El ahuellamiento está relacionado con la capacidad de la estructura para soportar los esfuerzos y deformaciones generadas en el suelo de Subrasante por las cargas del tránsito; al controlar el ahuellamiento, se evita la falla estructural por acumulación de deformaciones.

¹ Guía Metodológica para el Diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

6.1.4.3 Deformación Vertical por Compresión

La deformación y el esfuerzo a compresión sobre la Subrasante, obtenidos para la estructura modelada, se emplean para determinar el cumplimiento de la misma frente a esta sollicitación.

De acuerdo con Shell, la relación entre la deformación por compresión y las repeticiones, está dada por:

$$N = \left(\frac{0.018}{\varepsilon_z} \right)^4$$

Ecuación 5 Deformación por compresión

Donde:

z : deformación unitaria vertical en la superficie de la Subrasante, strain
N : número de ejes equivalentes de 8.2 t

Existen funciones de transferencia para el criterio de falla por ahuellamiento que no controlan el fenómeno con la deformación unitaria por compresión, sino a través del esfuerzo vertical por compresión (σ_z) en la superficie de la Subrasante.

6.1.4.4 Esfuerzo por Compresión

Se evaluó adicionalmente el ahuellamiento teniendo en cuenta el esfuerzo vertical de compresión sobre la subrasante para lo cual se propone la utilización del criterio de Dormon – Kerhoven, quienes lo expresan de la siguiente manera:

$$\sigma_z = \frac{0.007 \times E_{SBR}}{1 + 0.7 \log N}$$

Ecuación 6. Esfuerzo por compresión

Donde:

σ_z : Esfuerzo máximo de compresión sobre la Subrasante, MPa
 E_{SBR} : Módulo de la Subrasante, MPa
N : Número de ejes equivalentes de 8.2 ton

6.1.5 PARÁMETROS DE MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Como se mencionó, para la determinación de los esfuerzos y deformaciones actuantes en la estructura diseñada, se empleó el programa WinDepav. En la tabla 1 se relacionan los parámetros utilizados para la modelación:

Tabla 6.3 Parámetros entrada evaluación elástica

TIPO DE MATERIAL	MÓDULO (KG/CM ²)	COEFICIENTE DE POISSON
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo MDC-25	14000	0.30
Base granular	2100	0.35
Subbase granular	1100	0.35
Material de Mejoramiento	2100	0.35
Subrasante	300	0.45

6.1.6 GEOCELDAS

Los sistemas de geoceldas son estructuras tridimensionales dispuestas en forma de panel, permeables, a base de polímeros (sintéticos o naturales), interconectadas, que encierran completamente un tipo de relleno, proporcionando confinamiento a toda la estructura, previendo la extensión lateral del material de relleno. Cuando se le aplican cargas verticales a este sistema, las tensiones circunferenciales en las paredes de las celdas y las resistencias de las celdas adyacentes se movilizan. Estas tensiones y resistencias reducen la deformación lateral del material de relleno. Como resultado la rigidez incrementa generando que la capa de material de relleno y la geocelda actué como una matriz rígida y distribuya las cargas verticales del tráfico sobre un área más grande que la del suelo de la subrasante.



Ilustración 1: Geoceldas
Fuente: Sintex

El principal efecto que tiene un sistema de geoceldas, consiste en que éstas retienen horizontalmente el suelo encerrado en su interior, por lo tanto, limitan la deformación lateral bajo presión, para que el comportamiento del suelo mejore ante las fuerzas de deformación. Cuando el suelo estabilizado con un sistema de geoceldas es sometido a fuerzas o presiones, la dilatación lateral del material de relleno es restringida por las fuerzas del anillo de tracción de la geoceldas y por la resistencia pasiva de las celdas adyacentes

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante pueden prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

6.2.2 DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS

El método racional de diseño estructural de pavimentos se basa en el estado de esfuerzos y deformaciones inducidos por el tránsito, el clima, etc., y en los resultados de los ensayos de laboratorio sobre el comportamiento a fatiga de los materiales para establecer el número de ejes equivalentes que el pavimento puede soportar.

En este caso, ésta metodología es la más apropiada para el diseño de las estructuras de rehabilitación, dado las características de las mezclas asfálticas y las características del material granular.

6.2.3 METODOLOGÍA SHELL

La evaluación de los esfuerzos y deformaciones se obtuvo empleando la metodología SHELL. Esta metodología de diseño fue propuesta por la Shell en 1978 y permite la elaboración y comparación de diseños alternativos, empleando ábacos y formulaciones que involucran importantes variables. Además, es importante anotar que, según el addendum al método elaborado en los años 80, se realizó un ajuste al método, en especial los niveles de confiabilidad del 85% y 95%. La metodología se basa en un modelo teórico para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones elásticas, con el objetivo de predecir la respuesta del pavimento causada por una carga estándar aplicada.

Es un método mecanicista que considera el pavimento como un sistema multicapa, linealmente elástico, bajo la acción de las cargas del tránsito, en el que los materiales se caracterizan por el Módulo de Young (E), y su relación de Poisson (μ); el tránsito (N) se expresa en términos de ejes equivalentes, de 8.2 toneladas por eje sencillo, que se presentan en el carril de diseño para el periodo de diseño.

El método de diseño consiste en elegir espesores y características de los materiales, módulos y relaciones de poisson (E y μ) de las diversas capas del pavimento, de tal forma que la deformación por tracción (ϵ_t) y la deformación por compresión (ϵ_z), permanezcan dentro de los límites admisibles durante el periodo de diseño del pavimento.

- **Deformación permanente:** limita la deformación por compresión en la subrasante (ϵ_z) y el esfuerzo máximo de compresión sobre ésta (σ_z).
- **Fatiga de las capas asfálticas:** limita el grado de deformación por tensión en la base de la capa de concreto asfáltico (ϵ_t).

Una vez se conocen o asignan los módulos de las capas que conforman el pavimento, se procede a modelar para predecir las deformaciones y esfuerzos de la estructura, para lo cual, esta consultoría empleó el programa de software WinDepav, el cual emplea el modelo elástico multicapa.

6.2.4 BASE

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitirlas en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales

6.2.5 TIPOS DE BASE

Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

- **Base granular:** De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.
- **Base estabilizada:** Suelos con cemento Pórtland, cal o materiales bituminosos. En las bases granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

6.2.6 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA BASE

Las principales funciones de la base son:

- Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.
- Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar

6.2.7 SUBRASANTE

Los últimos 30 cms. De una terracería de corte o terraplén se conoce como Subrasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente está formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m., debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la Subrasante, tanto en el campo como en el laboratorio. Comprende estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos. La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

6.2.8 PROGRAMA DEPAV

El programa DEPAV fue desarrollado por los Ingenieros Alberto Murgueitio Valencia, Carlos Alberto Benavides y Efraín de Jesús Solano Fajardo para la Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia (INPACO) de 1993. La INPACO fue el parteaguas en la práctica del análisis y diseño de pavimentos en Colombia.

WinDEPAV es una interface para Windows que facilita definir la estructura del pavimento, las propiedades de sus capas (2 a 6), las características de la carga aplicada y la interpretación de los resultados del análisis estructural.

WinDEPAV solo es una herramienta de apoyo o ayuda para el diseño de pavimentos con metodología racional o mecanicista-empírica. Es útil para estudiantes, investigadores y diseñadores que requieren una plataforma de fácil manejo para el diseño racional de pavimentos.

6.3. MARCO NORMATIVO

Tabla 6.4 Marco Normativo

NORMA	RELACIÓN
RESOLUCIÓN 005865 DE 1998	En donde se adopta el MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO PARA CARRETERAS, como norma técnica para la red de carreteras a cargo del instituto nacional de vías INVIAS
RESOLUCIÓN 0001376 DEL 2014	Resuelve adoptar como norma técnica para los proyectos de la red vial nacional las ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN PARA CARRETERAS elaborado por el INVIAS
ARTÍCULO 230 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	consiste en la eventual disgregación del material de la subrasante existente, el retiro o adición de materiales, la mezcla, humedecimiento o aireación, compactación y perfilado final, de acuerdo con la presente especificación, y con las dimensiones, alineamientos y pendientes Señalados en los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor. Acuerdo instituto nacional de vías INVIAS.
ARTICULO 300.1 DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCION DE AFIRMADOS, SUB-BASES Y BASES GRANURALES Y ESTABILIZADAS	Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, sub base y base granulares y estabilizadas de acuerdo instituto nacional de vías INVIAS.
ARTICULO 351-13 BASE TRATADA CON CEMENTO	Consiste en la construcción de una capa de base tratada con cemento, constituida por una mezcla uniforme de agregados pétreos, cemento hidráulico, agua y eventualmente aditivos, de acuerdo con las dimensiones, alineamiento y secciones indicados en los documentos del proyecto. Instituto Nacional de Vías INVIAS
ARTICULO 311-13 AFIRMADO	Consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existentes, de acuerdo con la presente especificación, los lineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos. Instituto nacional de vías INVIAS
NORMA ASTM	Requerimiento de las propiedades físicas de la geoceldas (D1505-D5397-D1603-D5199)

6.4. MARCO GEOGRÁFICO

El municipio de San José del Guaviare se encuentra ubicado al norte del Departamento, ocupando una franja que sigue el curso de los ríos Guayaberos y Guaviare. Limita al norte con el departamento del Meta, y al occidente con el departamento de Caquetá, al oriente con el departamento del Guainía y al sur con los municipios de Calamar y el Retorno. Ocupa un área aproximada de 1.660.000 hectáreas que corresponde al 30% del territorio departamental. El Guaviare, es uno de los departamentos colombianos menos conocido, su riqueza natural es maravillosa, la actividad económica es principalmente agrícola y forestal.

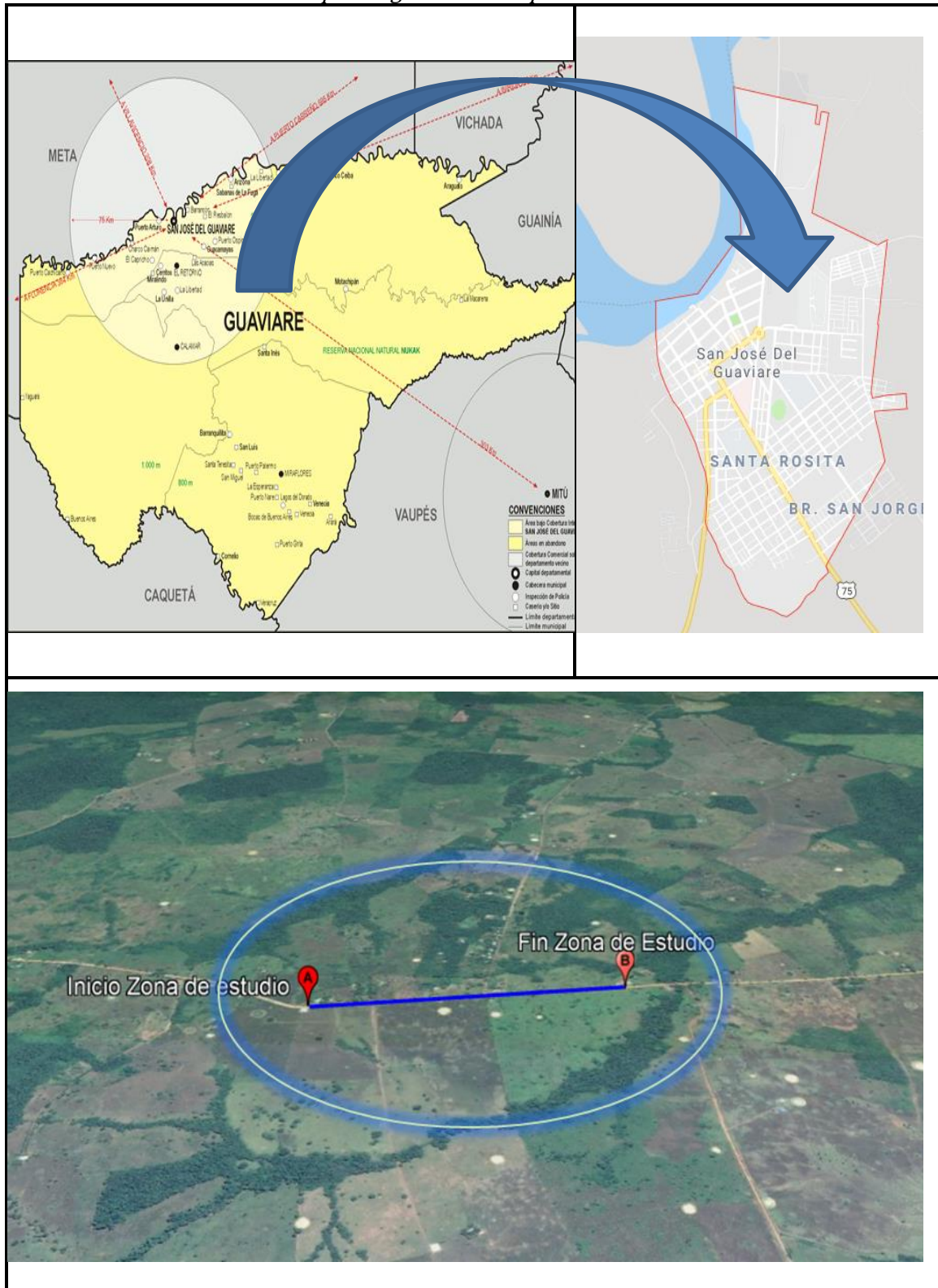
Tabla 6.5 Datos Geográficos

AREA (ha)	5.557.912
	(4.9% del Total Nacional)
MUNICIPIOS	4
	(0.4% del Total Nacional)
POBLACION TOTAL	95.551
	(0.2% del Total Nacional)
POBLACION RURAL	45.762
	(0.4% del Total Nacional)

Fuente: Alcaldía del Guaviare

Diseño de la estructura de pavimentos, implementando geoceldas, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en san José del Guaviare–Guaviare

Ilustración 2 Mapa Geográfico del Departamento del Guaviare



Fuente: Geografía Colombiana Reorganización

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Tabla 7.1 Equipo de Investigación y trayectoria

NOMBRE	PERFIL	CARGO
Miller Escarraga López	Estudiante de decimo semestre de la facultad de ingeniería civil dela universidad santo tomas Villavicencio	Estudiante
María Paula Mejida Romero	Estudiante de decimo semestre de la facultad de ingeniería civil dela universidad santo tomas Villavicencio	Estudiante
Jessica Ramírez Cuello	Ingeniera Civil egresada de la universidad de Sucre, Magistra en Ingeniería Civil con énfasis en Infraestructura Vial, cuenta con experiencia general de 7 años en proyecto de construcción de corredores viales y elaboración de estudios y diseños e interventoría en la parte administrativa. Presenta 16 meses de experiencia como docente de distintas áreas en la Universidad Santo Tomas Villavicencio	Directora

Fuente: Elaboración Propia

8. METODOLOGIA

Para este proyecto el enfoque es mixto; ya que en la parte cualitativa se analizarán los problemas socioeconómicos debido a la movilidad, y para la parte cuantitativa se diseñara una estructura de pavimento que cumpla con las condiciones ideales para su funcionamiento

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

De acuerdo los objetivos planteados para la realización de este proyecto se pretenden realizar las siguientes actividades:

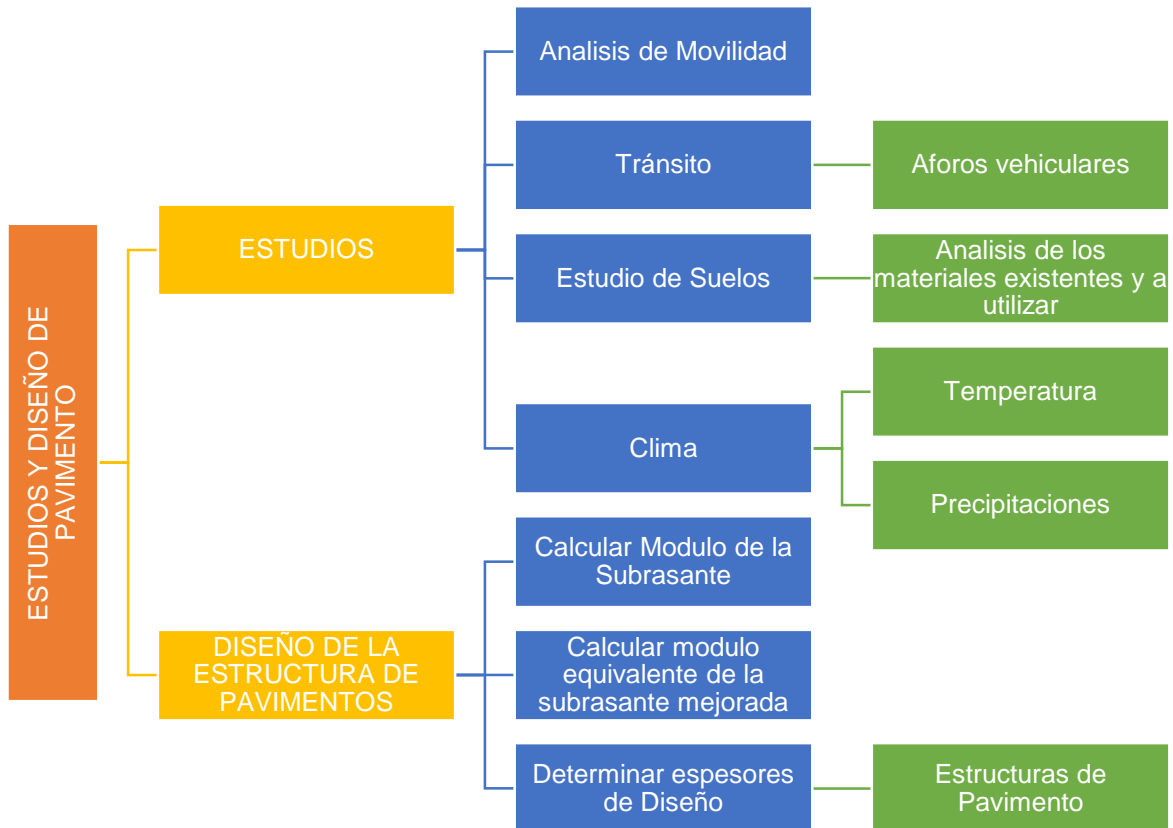


Ilustración 3 Metodología
Fuente: Elaboración Propia

8.1.1 ETAPA 1, ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

8.1.1.1 ANALISIS DE MOVILIDAD

Realizar encuestas que permitirán el análisis e interpretación de los problemas de movilidad en la zona y sus alrededores. La información e indicadores que se obtenga servirán para determinar las brechas de necesidades y el impacto generado antes y después de la realización del proyecto.

8.1.1.2 ESTUDIO DE TRANSITO

Para calcular el número de ejes equivalentes o tránsito de diseño, es necesario realizar el aforo vehicular durante tres días de la semana, de los cuales dos son días hábiles y uno no hábil.

Por lo anterior, se tomó el día sábado ya que es el día de mercado del municipio y los días jueves y viernes dado que es bastante transitado por vehículos que transportan los productos agrícolas hacia el casco urbano.

Una vez determinado el tránsito promedio diario se procede a calcular el número de ejes equivalentes utilizando la Ecuación 3. Se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto con el fin de obtener el porcentaje de la tasa anual de crecimiento vehicular que se usará, y el período de diseño de la estructura de pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito.

8.1.1.3 ESTUDIO DE SUELOS

Se realizarán apiques en el kilómetro de vía a estudiar cada 250 m para hacer la caracterización del suelo y después hacer la extracción de la muestra para así obtener el CBR presente en la zona, deben obtenerse datos completos sobre el suelo, tales como granulometría, límite líquido, límite plástico, composición y otras características. Conociendo las propiedades se podrá determinar la capacidad portante que presenta el suelo y así determinar el mejoramiento que se debe realizar.

8.1.1.4 CLIMA

Se consultarán las estaciones climatológicas presentes en la zona estudio mediante el programa “CLIMA” esto con el fin de obtener las condiciones particulares de la temperatura y precipitación anual promedio durante los últimos 10 años, para así determinar los factores climatológicos en el diseño de la estructura de pavimento.

8.1.2 ETAPA 2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo con la información recopilada del aforo vehicular y con los resultados obtenidos de los ensayos de CBR, se procede a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible.

8.1.2.1 Calculo Modulo de la Subrasante

Se determina el grado de elasticidad del suelo de la subrasante mediante las tensiones inducidas por las cargas de tránsito. Para determinar el módulo resiliente de la subrasante se es necesario correlacionar el valor del CBR obtenido en el estudio de suelos a través de la Ecuación 1 esto para CBR<10%


8.1.2.2 Módulo de la Subrasante Mejorada

Para el cálculo del módulo de la subrasante mejorada se determinó mediante valores del factor de mejora (FM) del módulo que aporta el sistema de geoceldas como refuerzo de la estructura de pavimento; que este depende de la intensidad del tránsito, del tipo de material de relleno y por ultimo del CBR que se encuentra en la subrasante. Para lo cual se toman los valores de la tabla 8.1 Para determinar el factor de mejora (FM) y así mediante la ecuación 7 se obtiene el módulo de la subrasante

Tabla 8.1 Determinación del FM para el sistema de Geoceldas SYNTEX

Intensidad de Tránsito	1		2		3		4		5		6		7	
Material de Relleno	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O
CBR (%)	VALOR <i>FMS</i> GEOCELDA SYNTEX ROAD RUNNER 30-150													
0.0 - 1.0	2.8	3.0	2.7	2.9	2.6	2.8	2.5	2.7	2.4	2.6	2.3	2.5	2.2	2.4
1.0 - 2.0	2.6	2.8	2.5	2.7	2.4	2.6	2.3	2.5	2.2	2.4	2.1	2.3	2.0	2.2
2.0 - 3.0	2.4	2.6	2.3	2.5	2.2	2.4	2.1	2.3	2.0	2.2	1.9	2.1	1.8	2.0
3.0 - 4.0	2.2	2.4	2.1	2.3	2.0	2.2	1.9	2.1	1.8	2.0	1.7	1.9	1.6	1.8
4.0 - 5.0	2.0	2.2	1.9	2.1	1.8	2.0	1.7	1.9	1.6	1.8	1.5	1.7	1.4	1.6
5.0 - 6.0	1.9	2.0	1.8	1.9	1.7	1.8	1.6	1.7	1.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
6.0 - 7.0	1.8	1.9	1.7	1.8	1.6	1.7	1.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.3	1.3
7.0 - 8.0	1.7	1.8	1.6	1.7	1.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3

R Material seleccionado o SBG_2
 O SBG_1, BG_1 o RAP*
 *RAP + material granular (mezcla 70:30% bien gradada)



Fuente: SYNTEX

$$E_{capa(reforzada)} = \frac{E_{capa(reforzada)} * 15 + E_{capa(reforzo)} * (H - 15)}{H}$$

Ecuación 7 Modulo Elástico de la capa reforzada SYNTEX

8.1.2.3 Espesores de Diseño

Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, se empleara el programa WinDEPAV teniendo como referencias el módulo elástico, la relación de Poisson y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzos y deformación.

Una vez calculados estos estado, se compararan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada, y en un procedimiento de ensayo y error (aumentando o disminuyendo por lo general los espesores de capas) se dimensionan las capas que conformarán la estructura de pavimento flexible

8.1.2.4 Estructura de Pavimento

Teniendo los espesores de diseño y módulo de la subrasante mejorada se propone una alternativa de diseño de un pavimento flexible que cumplan con los valores de admisibilidad propuestos por la metodología SHELL ya que proporciona una confiabilidad del 87.5% verificando que la deformación por tracción en la fibra inferior del concreto asfaltico y las deformaciones verticales en la parte superior de la subrasante producidas por el transito deben ser menores a los valores admisibles establecidos por las leyes de fatiga que establece la norma.

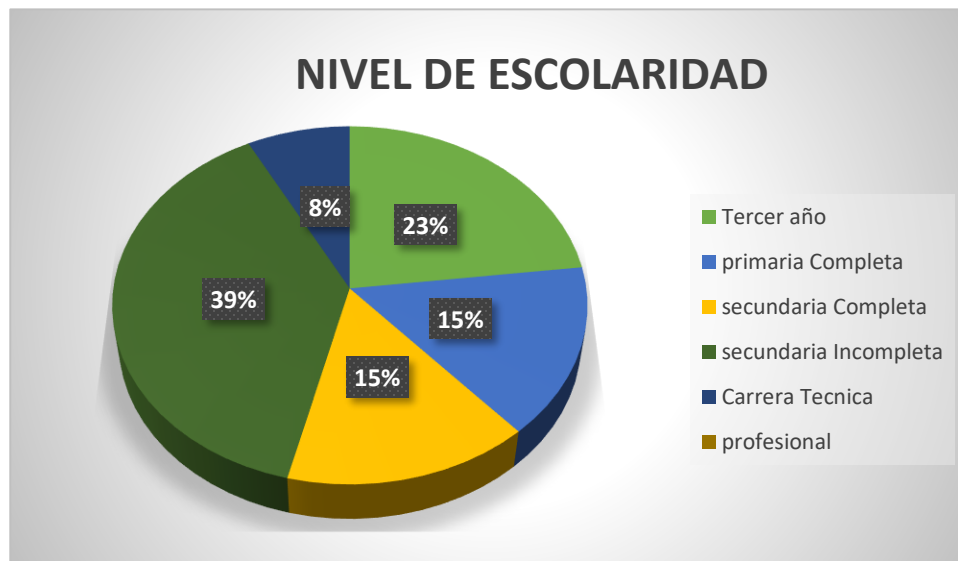
9. RESULTADOS

9.1. ANALISIS DE MOVILIDAD EN LA VEREDA TROCHA GANADERA

En las zonas rurales, los habitantes prácticamente no tienen acceso a recursos como energía eléctrica, agua potable, alcantarillado, vías de acceso en condiciones óptimas entre otros. El Gobierno, como ente principal, debe asegurar la disponibilidad de tales servicios, pero aparte de las razones sociales que se presentan en el problema, el componente económico, es decir, la rentabilidad de la inversión no le representa ganancias al Estado en muchos años. Sin embargo, el Gobierno debe asegurar igualdad de condiciones de vida entre todos los habitantes que pertenecen a la sociedad, haciendo que esta inversión en mejoramiento de vías y necesidades básicas para la población rural sea necesaria, porque debido a la falta de vías se viene presentado un atraso en las zonas rurales.

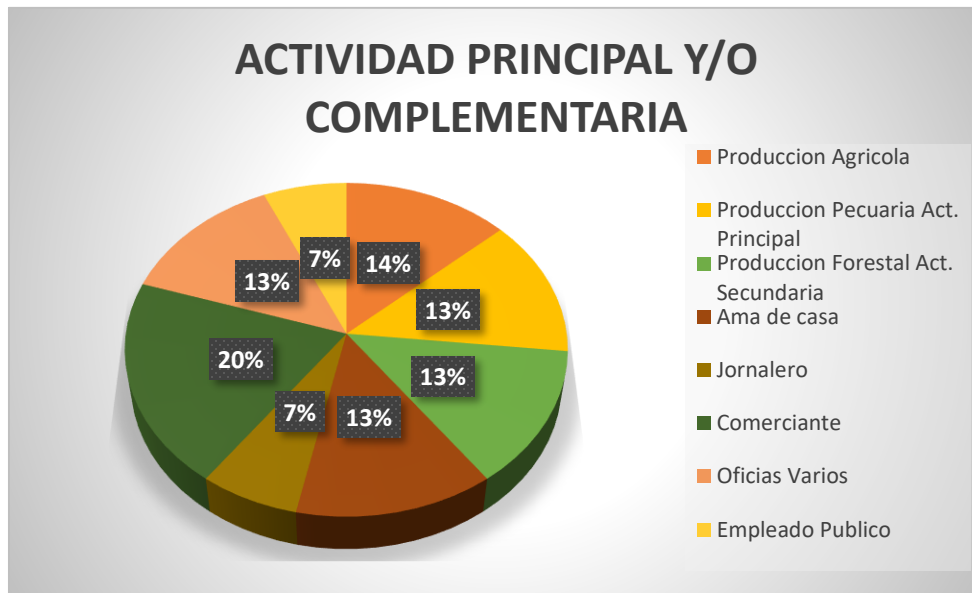
El problema del desarrollo en la población rural ha sido estudiado ampliamente y en muchas áreas de estudio. Normalmente el desarrollo sostenible de comunidades rurales está directamente ligado a las formas en las cuales las personas que viven en una comunidad reaccionan a nuevas condiciones o se ajustan a situaciones inusuales en una forma constructiva. Diversos estudios han mostrado que la disponibilidad de energía eléctrica y el mejoramiento de vías a población rural contribuyen a su desarrollo y crecimiento.

A continuación, se representan gráficamente las encuestas realizadas a la comunidad



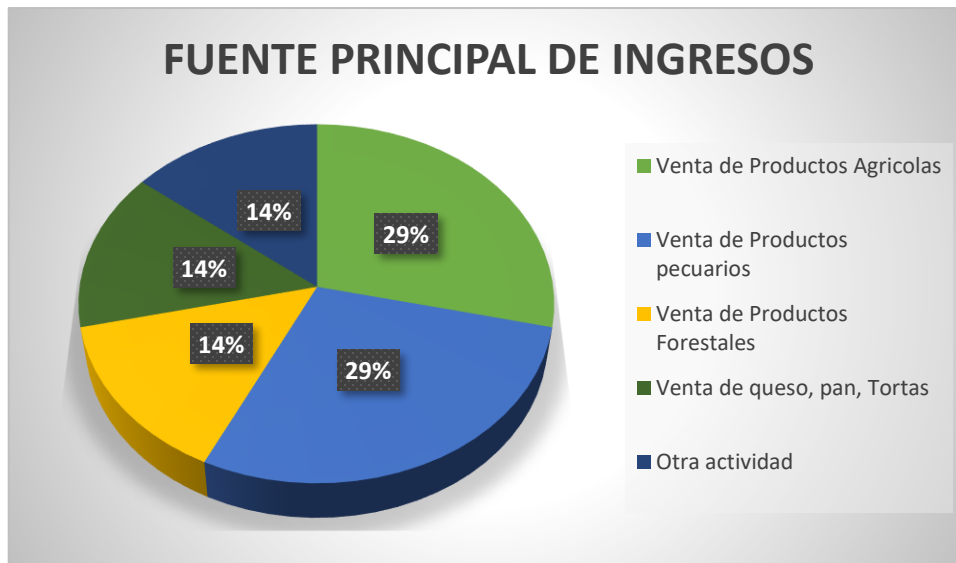
Grafica 1 Nivel de Escolaridad
Fuente: Propia

En la gráfica 1 se evidencia el porcentaje de escolaridad de los habitantes de la vereda trocha ganadera, donde se observa un gran porcentaje de habitantes los cuales han cursado la secundaria incompleta y solo un 8% han llegado a una carrera técnica, basándonos en estos datos. se puede decir que: los habitantes de esta zona del municipio de San José del Guaviare no está integrados a los procesos de desarrollo social y de educación básica del país; ya que la estructura productiva es insuficiente, la calidad y cobertura de la educación es muy baja.



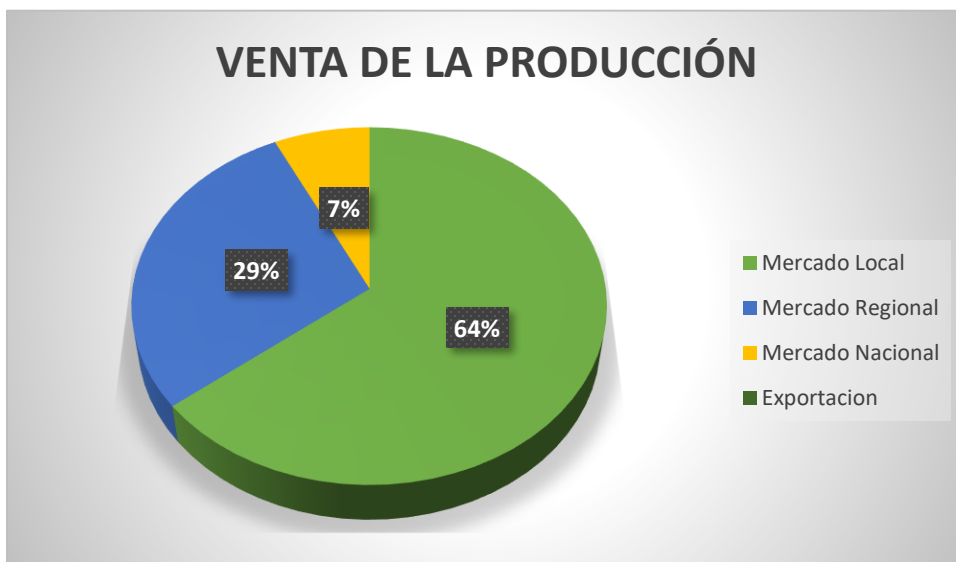
Grafica 2 Actividad principal y/o Complementaria
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la gráfica 2 en esta zona del municipio de San José del Guaviare se observa una variación de las actividades económicas, contando con un 20% de los habitantes son comerciantes y una variación mínima del 13% y 14% se dedican a la Producción agrícola, pecuaria, forestal y amas de casa; solo un 7% de esta población trabajan como empleados públicos



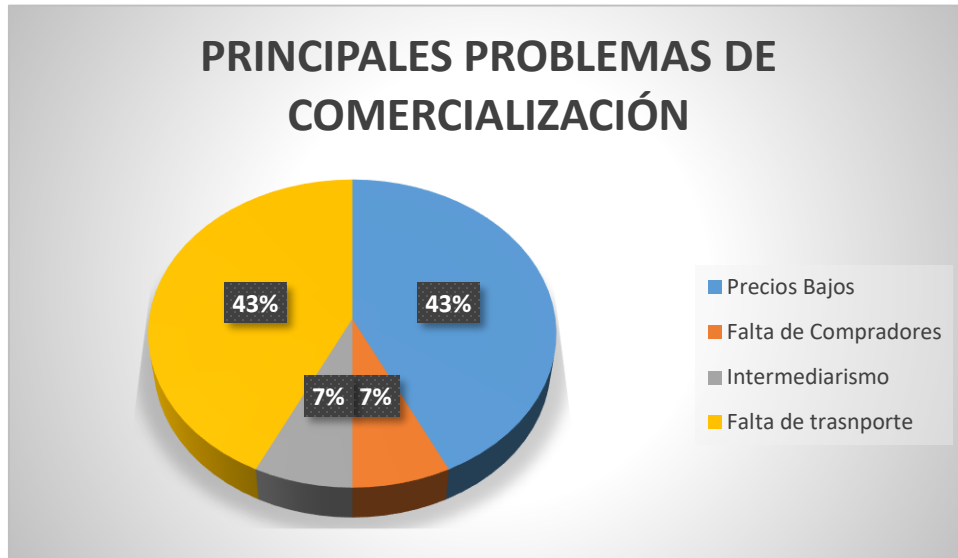
Grafica 3 Fuente Principal de Ingresos
Fuente: Propia

Como se observa en la gráfica 3 la mayor fuente de ingresos en el municipio está en el sector agrícola y pecuario con un 29% respectivamente, la ganadería es una principales actividades que se realiza en esta zona ya que por el clima y la geografía sus suelo y pastos se prestan para explóralos al máximo sin mayores exigencias; por el contrario la venta de productos forestares y alimentos es de un 14% ya que principalmente estas producciones hace con fines de autoconsumo y la generación de algunos excedentes.



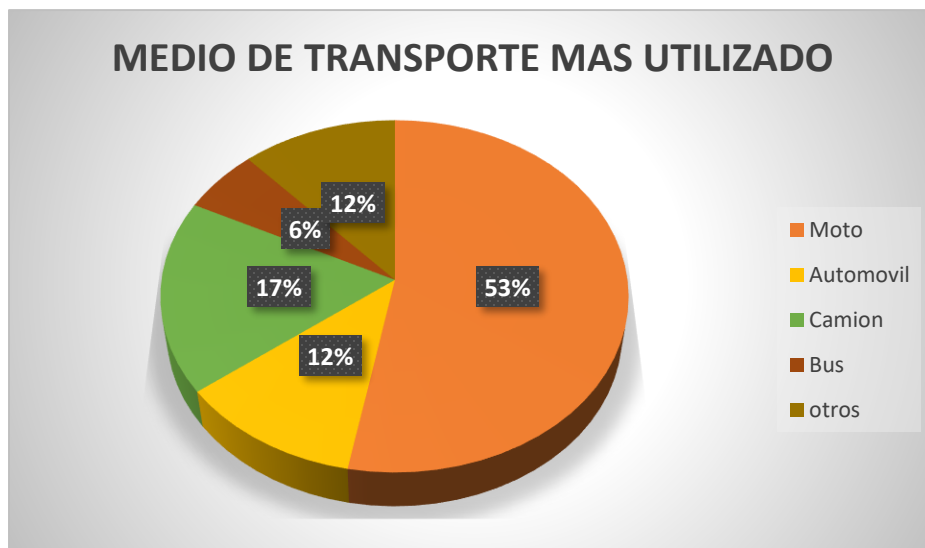
Grafica 4 Venta de la Producción
Fuente: Propia

La venta de la producción se evidencia en el mercado local con un 64% y el mercado regional en un 29% esto evidenciando que en el municipio no se comercializa los productos a gran escala y solo un 7% de la producción realizada se explota en el mercado nacional, esto se entiende el poco desarrollo económico que tiene la zona a lo largo del territorio colombiano



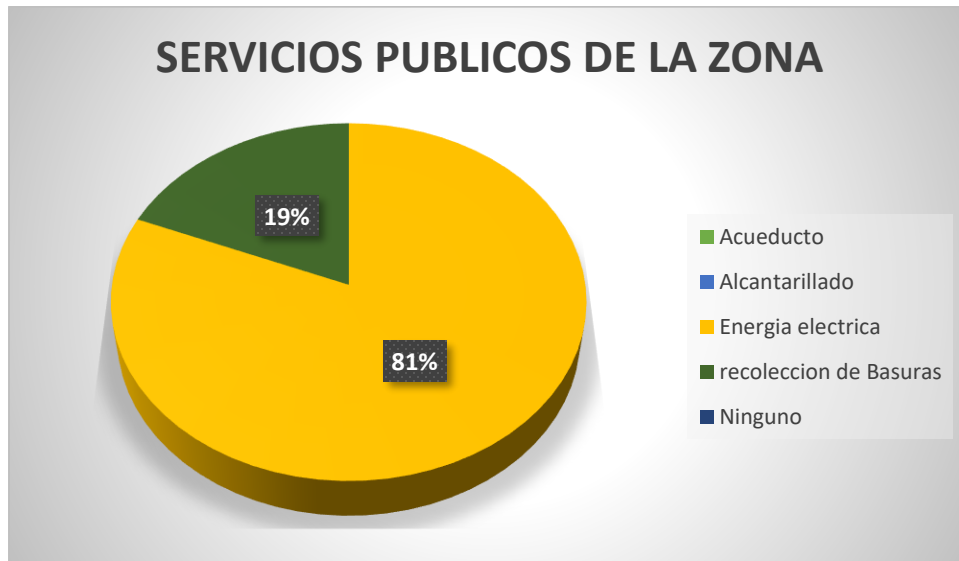
Grafica 5 Problemas de Comercialización
Fuente: Propia

Se puede evidenciar notablemente que los principales problemas de la comercialización de los productos están basados en la falta de transporte y los precios bajos con un 43% respectivamente, esto entendiendo la falta de infraestructura para comercializar los productos y así mejorar la economía del municipio



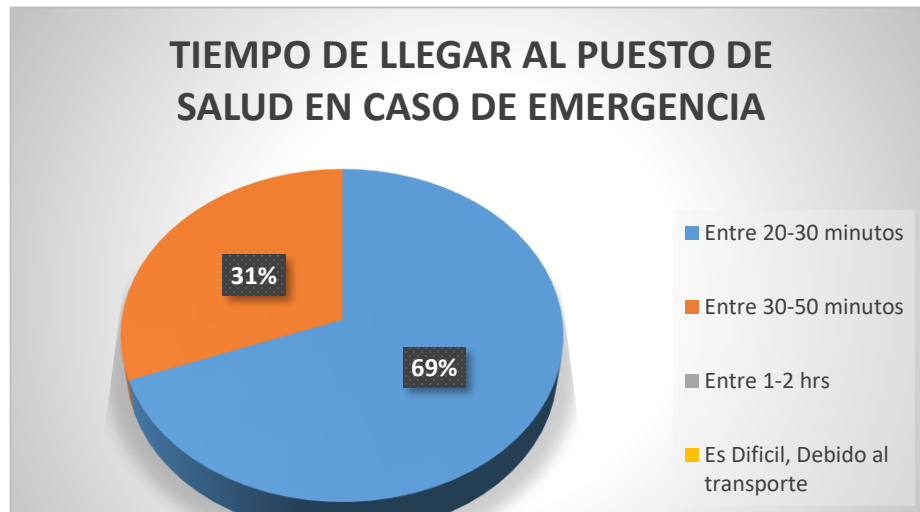
Grafica 6 Medio De Transporte Más Utilizado
Fuente: Propia

El 53% población campesina del municipio utiliza como medio de transporte la moto ya que puede ser más económica y eficiente a la hora de transportarse y solo un 6% población utiliza buses 16% camión y 12% automóvil, esto evidenciando el claro problema de infraestructura vial que se presenta y el poco acceso a la zona.



*Grafica 7 Servicios Públicos de la Zona
Fuente: Propia*

El municipio cuenta con una empresa de servicios públicos encargada del desarrollo e implementación del sistema de acueducto y alcantarillado de la zona urbana del municipio de San José del Guaviare, EMPOAGUA ESP. El servicio de acueducto es deficiente en gran parte a la mala calidad de las conexiones domiciliarias ya que solo suplen 19 % de la zona rural y no presentan servicios de alcantarillado, para la energía eléctrica solo presenta una cobertura del 81 % de la población, esto en gran medida resume el abando que presenta la zona rural por parte de sus gobernantes.



Gráfica 8 Tiempo de llegar a la puesto de salud en caso de emergía
Fuente: propia

Como se muestra en la gráfica 8 en caso de cualquier eventualidad que se presente en la zona los tiempos de transporte al puesto de salud podrían tardarse de 1 a 2 horas el 69% de los casos esto en época de invierno, en otros casos el 31 % podrían tardarse de 30 a 50 minutos.



Gráfica 9 Lluvias
Fuente: Propia

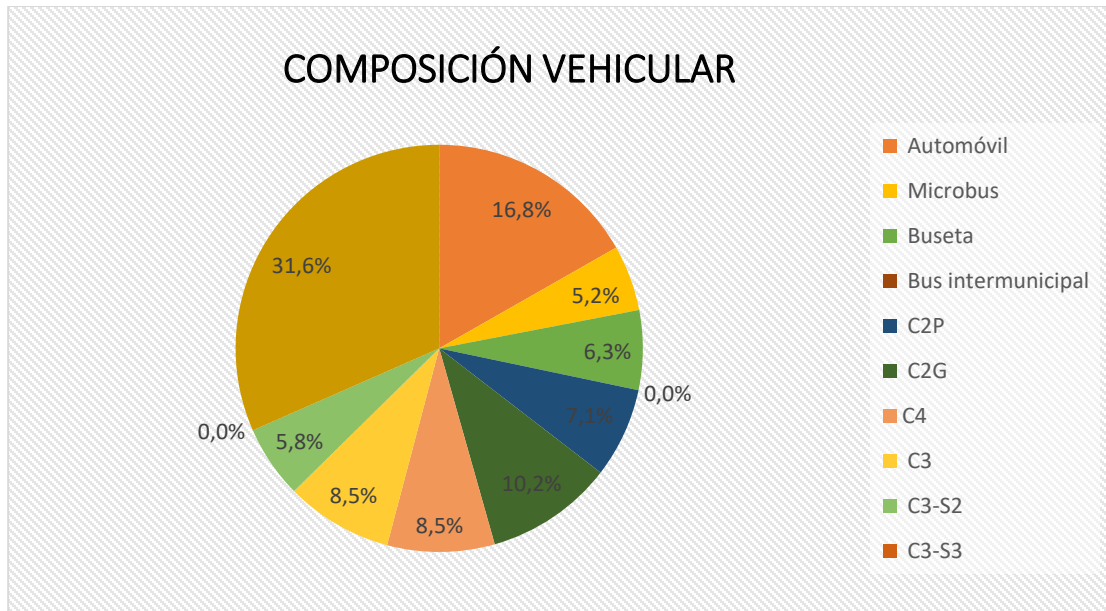
El cambio climático ha incrementado los episodios de fuertes precipitaciones, causantes de inundaciones o graves daños, según la gráfica 9 en los últimos años en San José del Guaviare se ha visto un incremento de lluvias de 69% afectado directamente a la población.

9.2. ESTUDIO DE TRANSITO

El presente proyecto tiene una proyección estimada de 10 años contados desde el año 2019, debido a que la estructura va a ser en pavimento flexible, el año de diseño va a ser el año 2019, para este año se calcula el TPD y las variables correspondientes para el cálculo del número de ejes equivalentes de 8,2 Ton (N).

9.2.1 COMPOSICION VEHICULAR

Hora inicio	Hora fin	Día	Movimiento	Automóvil	Microbús	Buseta	C2P	C2G	C4	C3	C3-S2	MOTOS	Transporte Publico	Transporte de Carga
08:00	08:30	19/11/2018	SJ-TG	8	1	0	0	0	2	3	0	9	1	3
08:30	09:00	19/11/2018	SJ-TG	3	0	1	4	2	3	6	1	5	1	13
09:00	09:30	19/11/2018	SJ-TG	1	1	3	3	1	2	3	1	13	4	8
09:30	10:00	19/11/2018	SJ-TG	4	0	0	0	3	1	6	2	3	0	11
10:00	10:30	19/11/2018	TG-SJ	4	1	2	2	3	3	4	0	12	3	9
10:30	11:00	19/11/2018	TG-SJ	1	0	2	1	0	2	3	0	8	2	4
11:00	11:30	19/11/2018	SJ-TG	3	0	0	1	2	0	2	3	16	0	8
11:30	12:00	19/11/2018	SJ-TG	1	1	4	0	3	3	1	1	5	5	5
12:30	13:00	19/11/2018	SJ-TG	12	3	2	5	3	3	0	1	15	5	9
13:30	14:00	19/11/2018	SJ-TG	5	2	5	4	8	4	5	3	12	7	20
14:30	15:00	19/11/2018	TG-SJ	2	5	2	3	4	4	3	2	12	7	12
15:30	16:00	19/11/2018	TG-SJ	8	4	4	2	3	2	1	4	13	8	10
16:30	17:00	19/11/2018	SJ-TG	10	3	4	6	5	8	6	6	15	7	23
17:30	18:00	19/11/2018	TG-SJ	2	5	2	3	4	4	3	2	12	7	12
18:30	19:00	19/11/2018	TG-SJ	8	4	4	2	3	2	1	4	13	8	10
19:30	20:00	19/11/2018	SJ-TG	10	3	4	6	5	8	6	6	15	7	23
				82	33	39	42	49	51	53	36	178	72	180



Grafica 10 Composición Vehicular
Fuentes: Propia

Como se puede evidenciar en la gráfica 10 que un 31,6% de la población rural se moviliza en moto y no se presente ningún tipo de transporte público por el sector.

Se debe restar del total el número de vehículos de la categoría Autos, debido a que este tipo de vehículo no se tiene en cuenta para el diseño del pavimento. Por lo tanto el TPD que se trabajó fue de 745 veh/día

Tabla 9.1 Composición Vehicular

<i>TPD</i>	745	<i>r</i>	1,63%
<i>K1</i>	68,4		
<i>K2</i>	50	<i>T</i>	15°C
<i>Mi</i>	0,51	<i>Mi</i>	1.25
COMPOSICION VEHICULAR			
Tipo de vehículo	Porcentaje %		Factor Daño
<i>Automóvil</i>	16,8%	124,8	0,00
<i>Microbús</i>	5,2%	38,9	0,00
<i>Buseta</i>	6,3%	47,1	1,00
<i>Bus intermunicipal</i>	0,0%	0,0	1,00
<i>C2P</i>	7,1%	53,2	1,14
<i>C2G</i>	10,2%	75,7	3,44
<i>C4</i>	8,5%	63,4	6,73
<i>C3</i>	8,5%	63,4	3,76
<i>C3-S2</i>	5,8%	43,0	4,40
<i>C3-S3</i>	0,0%	0,0	4,72
		509,6291209	

Fuente: Propia

Para realizar el cálculo del factor camión se utilizan los valores registrado en los aforos realizados en campo, para así determinar las categorías de vehículos pesados que van a transitar por la estructura de pavimento flexible y se determina el valor del Factor Camión.

Tabla 9.2 Factor Camión

FACTOR CAMION	2,40
Numero de Vehículos Pesados (NVP)	1009484,583
Numero de Ejes Equivalentes (N 8.2)	2,42E+06

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se determinó por tipo de vehículo el número de vehículos que van a circular durante el período de diseño, así como las

cargas por eje empleadas y el tipo de eje de cada tipo de vehículo analizado. Para el diseño de pavimentos se propone realizar el cálculo de espesores de capa por metodología Racional, por tanto, se requiere de tener como variable de entrada el espectro de carga bien definido con sus repeticiones de carga por eje proyectadas a 10 años.

9.3. ESTUDIO DE SUELOS

Conocer las propiedades que posee el suelo sobre en el que se va a realizar la intervención vial, es quizá uno de los parámetros más importantes dentro de los que existen al momento de la construcción de una vía, debido a que es un factor limitante directo para el tránsito que va a soportar la carretera, además de la resistencia a compresión que posee la subrasante.

Para la obtención de la información geotécnica de los diversos tipos de suelos se efectuaron investigaciones en campo y laboratorio, que determinaron su distribución y propiedades físicas a lo largo de la vía proyectada. La investigación de suelos comprendió:

9.3.1 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS

Fue la primera labor llevada a cabo en la investigación de suelos mediante la realización de sondeos, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelos, la forma como estos están dispuestos en capas y la detección de la posición del nivel de agua.

En cada exploración se anotaron los espesores de las diversas capas encontradas y su posición exacta en sentido vertical, así como la identificación visual de los materiales indicando su color y consistencia.

9.3.2 TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de establecer las condiciones de la vía proyectada, se realizaron tres (3) apiques a una profundidad máxima de 1,50 m. durante la investigación se tomaron muestras representativas del perfil estratigráfico encontrado, para su respectiva clasificación y caracterización, Se realizaron los siguientes ensayos:

- ✓ Límites de Consistencia y Gradación
- ✓ CBR de laboratorio

9.3.3 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES

No se encontró nivel de agua durante la exploración

Diseño de la estructura de pavimentos, implementando geoceldas, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en san José del Guaviare–Guaviare

Tabla 9.3 Localización de Sondeos

APIQUE N°	LOCALIZACION
1	Km 10+000
2	Km 10+ 500
3	Km 11+000

Fuente: Propia

9.3.4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

9.3.5 LIMITES DE CONSISTENCIA

APIQUE 1

9.3.5.1 Limite Líquido

Tabla 9.4 Limite Liquido

NORMA DE ENSAYO INV E-125-07			
N. de golpes	34	25	19
Vidrio N.	14	70	77
Peso 1 gr	28,14	26,85	27,35
Peso 2 gr	24,87	22,20	22,44
Peso 3 gr	12,03	4,60	4,50
% de Humedad	25,5	26,4	27,4

Fuente: Estudio de suelos

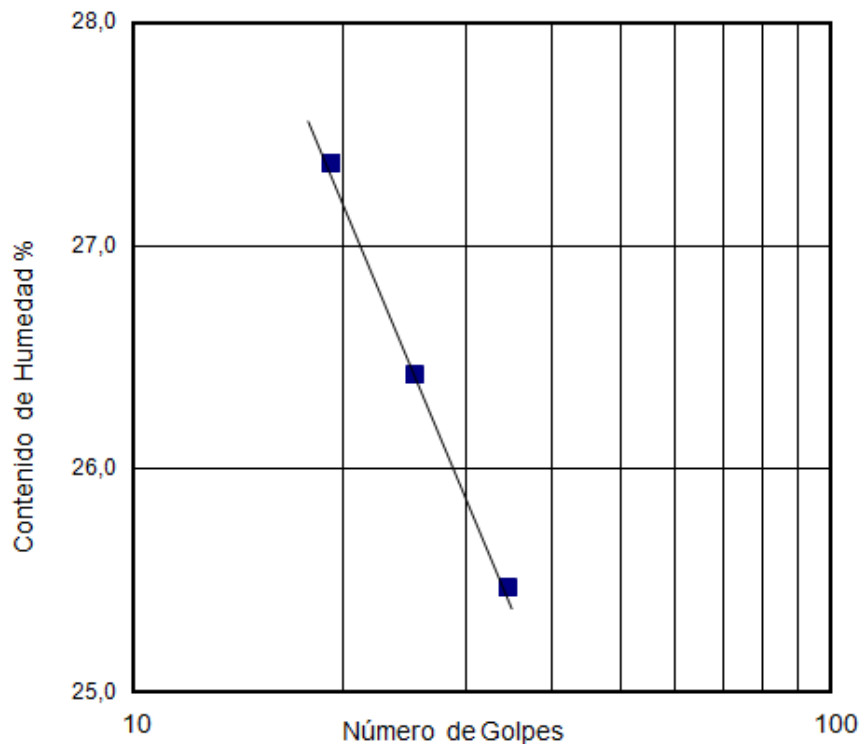
9.3.5.2 Limite Plástico

Tabla 9.5 Limite Plástico

NORMA DE ENSAYO INV E -126-07		
Vidrio N.	11	20
Peso 1 gr	21,34	20,52
Peso 2 gr	19,96	19,33
Peso 3 gr	11,78	12,47
% de Humedad	16,9	17,3

Fuente: Estudio de suelos

Grafica 11 Limite Líquido



Fuente: Estudio de suelos

APIQUE 2

9.3.5.3 Limite Líquido

Tabla 9.6 Limite Líquido

NORMA DE ENSAYO INV E-125-07			
N. de golpes	16	24	36
Vidrio N.	8	61	48
Peso 1 gr	25,74	25,04	23,67
Peso 2 gr	20,77	20,36	19,39
Peso 3 gr	4,51	4,64	4,57
% de Humedad	30,6	29,8	28,9

Fuente: Estudio de suelos

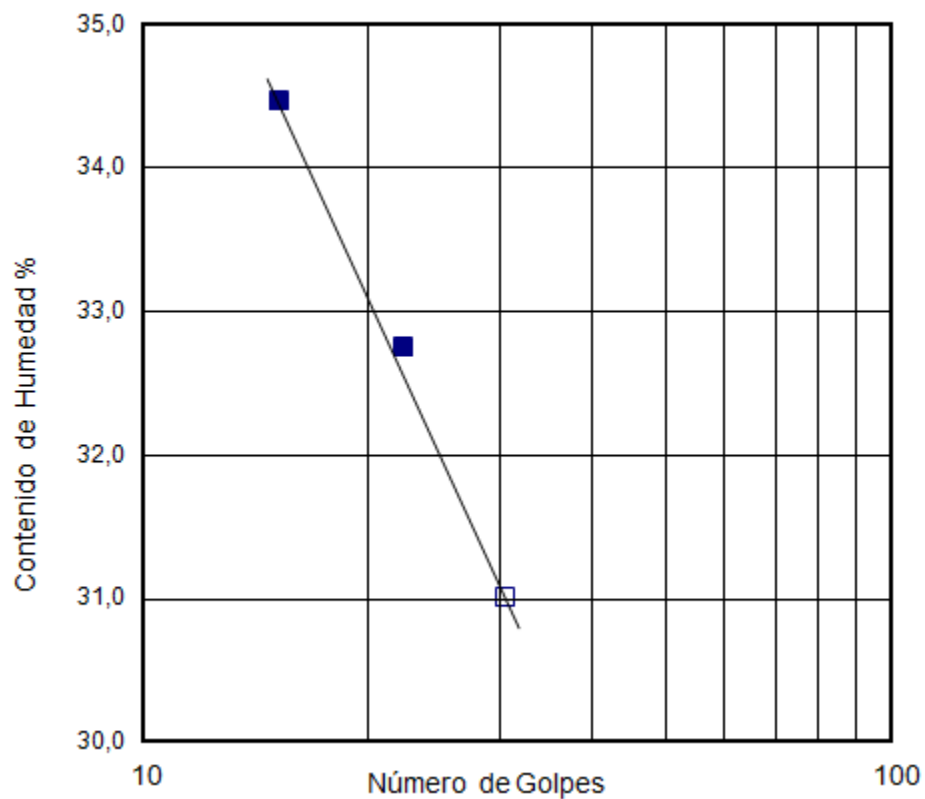
9.3.5.4 Limite Plástico

Tabla 9.7 Limite Plástico

NORMA DE ENSAYO INV E -126-07		
Vidrio N.	11	34
Peso 1 gr	36,85	37,79
Peso 2 gr	33,29	33,98
Peso 3 gr	11,84	11,85
% de Humedad	16,6	17,2

Fuente: Estudio de suelos

Grafica 12 Limite Liquido



Fuente: Estudio de suelos

APIQUE 3

9.3.5.5 Limite Líquido

Tabla 9.8 Limite Liquido

NORMA DE ENSAYO INV E-125-07			
N. de golpes	30	22	15
Vidrio N.	40	31	39
Peso 1 gr	23,55	21,73	28,88
Peso 1 gr	19,78	18,59	23,46
Peso 1 gr	7,62	9	7,73
% de Humedad	31	32,7	34,5

Fuente: Estudio de suelos

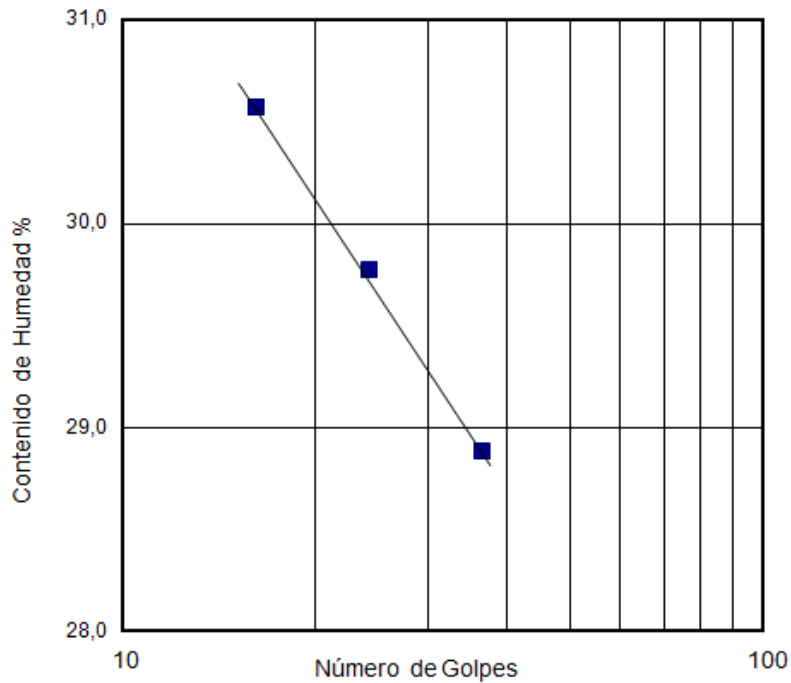
9.3.5.6 Limite Platico

Tabla 9.9 Limite Plástico

NORMA DE ENSAYO INV E -126-07		
Vidrio N.	29	66
Peso 1 gr	27,96	23,68
Peso 2 gr	24,57	20,93
Peso 3 gr	5,38	4,84
% de Humedad	17,7	17,1

Fuente: Estudio de suelos

Grafica 13 Limite Liquido



Fuente: Estudio de suelos

9.3.6 LIMITES DE ATTEMBERG

Tabla 9.10 Limite Attemberg

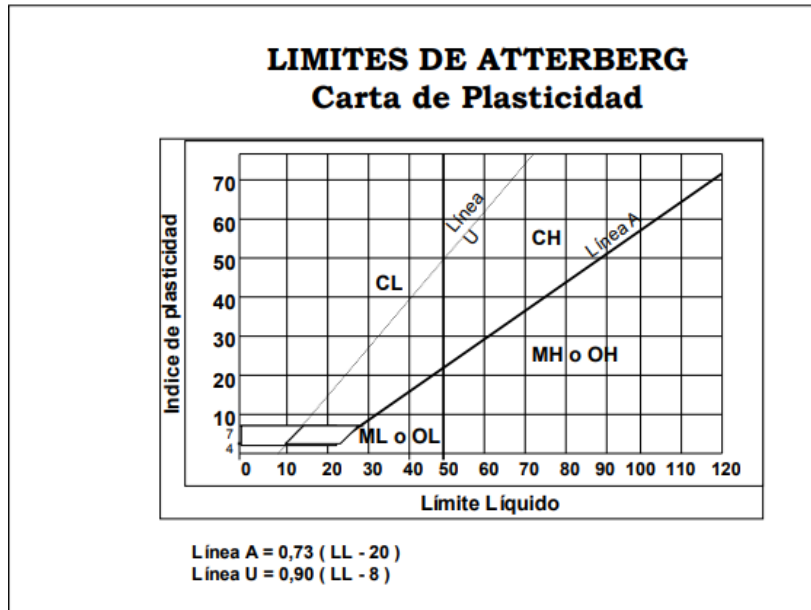
	APIQUE 1	APIQUE 2	APIQUE 3
LIMITE LIQUIDO	32	30	26
LIMITE PLASTICO	17	17	17
INDICE DE PLASTICIDAD	15	13	9

Fuente: Propia

En el apique número uno podemos evidenciar de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande que tenemos un Límite líquido igual al 32% y un índice de plasticidad igual al 15% para lo cual nos representa un suelo arcilloso inorgánico de plasticidad media. Para el segundo apique tenemos un Límite líquido igual al 30% y un índice de plasticidad igual a 13% que representa un suelo que se encuentra en el límite de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad y media plasticidad. Para el apique número tres encontramos un Límite líquido igual al 26% y un índice de plasticidad igual a 9% encontramos un material que se encuentra en el límite de arcilloso inorgánicas de baja plasticidad y de ser un suelo poco cohesivo debido a que sus partículas son relativamente grandes, también llamados granulares o fricciantes.

Los límites de Atterberg, consistencia o de plasticidad se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, se realiza mediante la clasificación del suelo como se observa en la siguiente ilustración:

Ilustración 4 Carta de Plasticidad



Fuente: Autores

A partir de los estudios realizados se muestra que la mayoría de los materiales encontrados presentan un límite líquido menor a 50 por lo que se caracterizan como limos y arcillas con las siguientes características:

Tabla 9.11 Características del Suelos

APIQUE	PROFUNDIDAD	CLASIFICACION	MATERIALES
1 al 3	0,00 a 0,10 m	SM A-2-4	Arena grano grueso color amarillo con fragmentos de areniscas hasta 3/4". Compactación Densa, humedad media, No plástico
1 al 3	0,10 a 1,50 m	CL A-6	Arcilla limosa color café y rojizo. Consistencia Dura, humedad media, plasticidad media

Fuente: Propia

De acuerdo a lo anterior se evidencia presencia de arcillas, limos y pequeños porcentajes de materia orgánica, las cuales son inherentemente inestables y tienden a formar suspensión cuando se saturan además difíciles de compactar y altamente susceptibles a hinchamiento debido a altas precipitaciones esto en el caso de los limos, en el caso de las arcillas que son materiales que presentan bajan resistencia a la deformación en estado húmedo, pero, al secarse se forman masas cohesivas y duras. Entonces mientras más alto sea el límite líquido de la arcilla, mayor será su compresibilidad al compararla en igualdad de condiciones de la carga previa

9.3.7 CBR DE LABORATORIO

Tabla 9.12 CBR

Profundidad (m)	Clasificación	Masa Unitaria Máxima kg/m³	CBR 90%
0,00-0,10	SM A-2-4	1996	50
0,10-1,50	CL A-6	1890	3

Fuente: Propia

9.4. CLIMA

Las condiciones medioambientales son importantes en el desempeño de los pavimentos flexibles, Factores como la precipitación y temperatura, afectan el contenido de humedad del pavimento y de la subrasante, incidiendo directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y finalmente en el desempeño del mismo.

9.4.1 Temperatura

Tabla 9.13 Datos De La Temperatura Mensual Promedio De Los Últimos 10 Años

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2007	13.5	13.4	13.9	14.1	13.6	12.6	12.4	12.1	12.4	13.2	13.2	13
2008	12.8	13.3	13.4	13.6	13.2	12.8	12.3	12.8	12.6	13.2	13.5	13.3
2009	13.2	13.3	13.7	13.5	13.3	12.7	12.3	13.1	12.9	13.5	14.1	13.9
2010	13.6	14.8	14.6	14.6	14.3	13.4	13.1	12.4	13.1	13.4	12.8	12.9
2011	13.1	12.9	13	13.5	13	13.1	12.3	12.5	12.2	12.8	13.4	13.3
2012	13.4	13	13.2	13.3	13.1	12.4	12.2	12.3	12.5	13.1	13.5	13.1
2013	13.9	13.9	14.2	14.3	13.6	13	12	12.5	12.9	13.2	13.4	13
2014	13.5	14.1	14	13.7	13.8	13	12.5	12.5	13	13.5	13.7	13.3
2015	13	13.5	14.2	13.7	13.8	12.9	12.7	12.8	13.2	13.7	14	13.2
2016	14.7	14.6	15.8	14.8	14	12.7	12.1	12.8	13.1	13.7	14	13.3

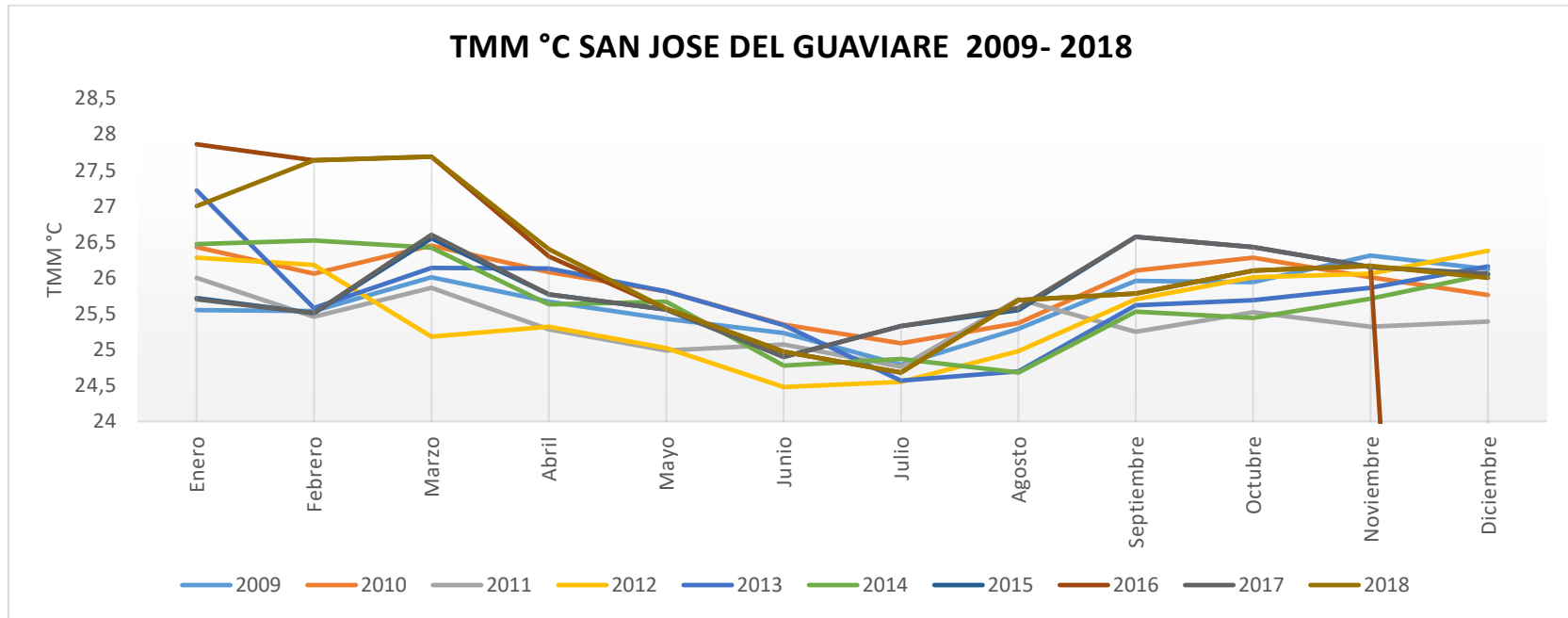
Fuente. Estación meteorológica IDEAM, con la aplicación Clima

Fuente: Propia

$$TMM = 20.348 + 17.5683 * \log Fg$$

Ecuación 8 Temperatura Media Mensual

Grafica 10 Temperatura Media Mensual



Fuente: Propia

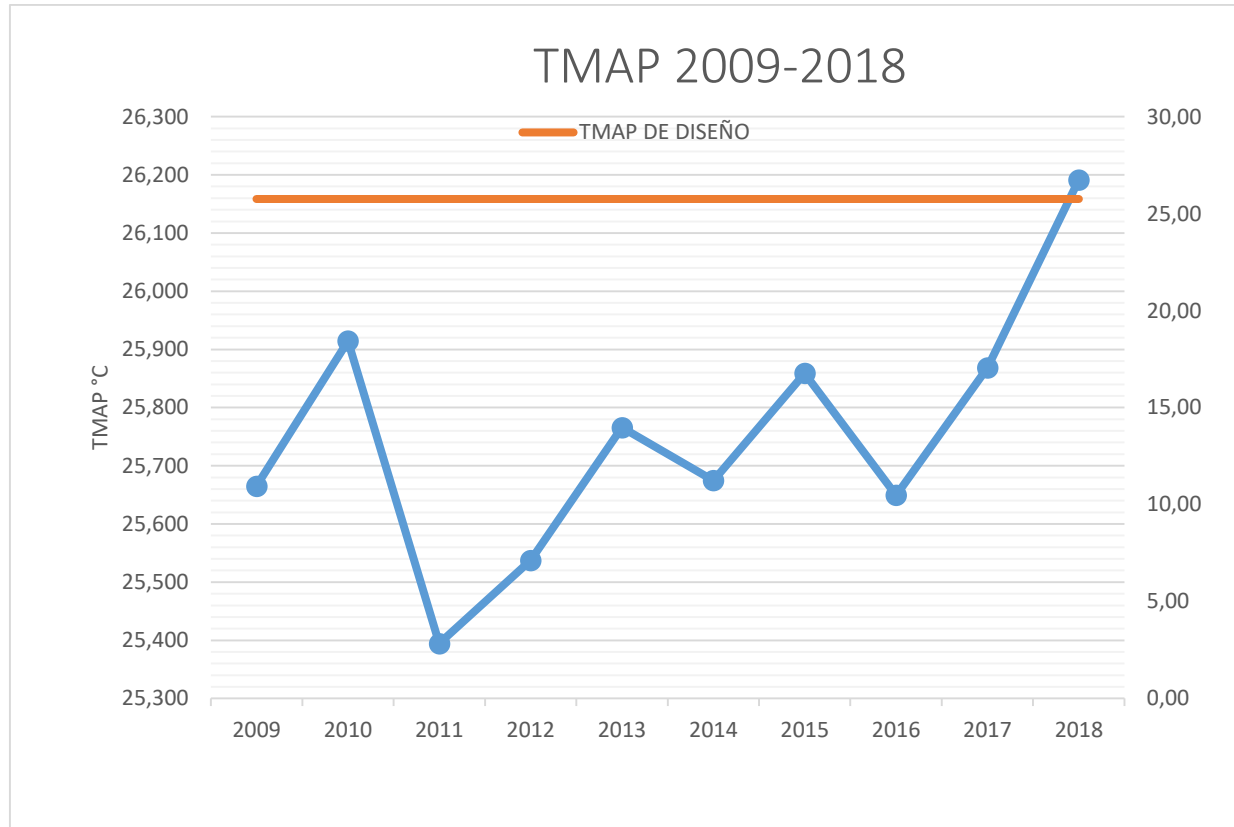
Se puede evidencia que durante los últimos 10 años se ha tenido una variación de la temperatura promedio para cada mes, durante los años 2016 y 2018 se ha mantenido temperaturas máximas de hasta 27.5°C para los meses de febrero y marzo y mínimas de 25°C en los meses de junio y julio.

Tabla 9.14 Temperatura Media Anual Ponderada y Temperatura de Diseño

TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO			
AÑO	TMAP °C	Fp Promedio	TMAP DE DISEÑO
2007	25.665	2.01	25.75
2008	25.914	2.07	25.75
2009	25.394	1.94	25.75
2010	25.537	1.97	25.75
2011	25.766	2.03	25.75
2012	25.675	2.01	25.75
2013	25.859	2.06	25.75
2014	25.649	2.00	25.75
2015	25.868	2.06	25.75
2016	26.191	2.15	25.75

Fuente: Propia

Grafica 11 Temperatura Media Anual Ponderada



Fuente: Propia

Como se muestra en la gráfica 11 se determinó una temperatura promedio de diseño de 26,191C° para el presente año 2019 determinando un clima tropical en el Municipio de San José del Guaviare

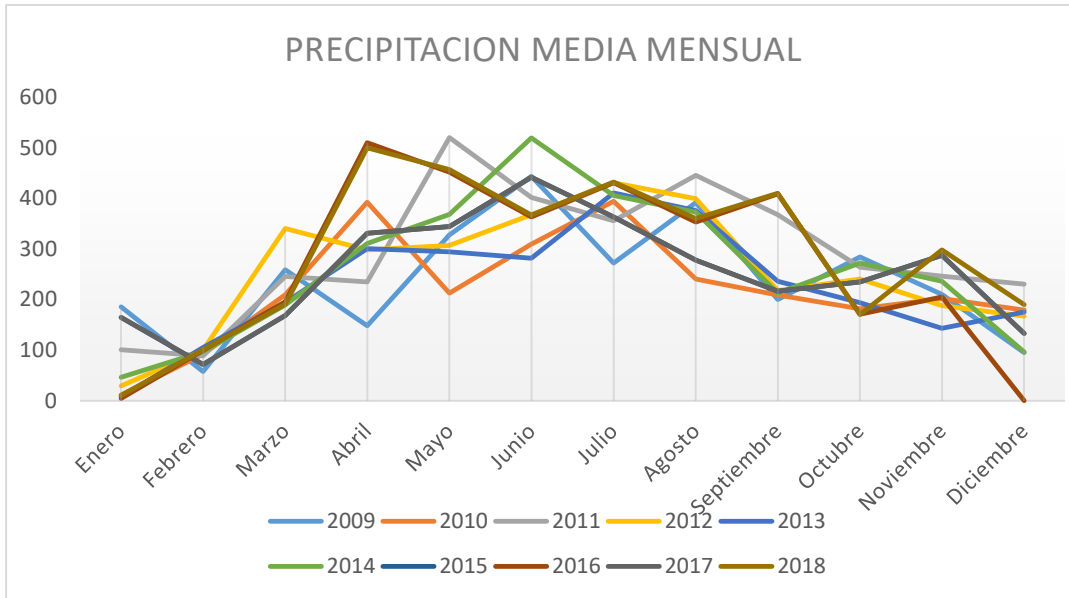
9.4.2 Precipitación

Tabla 9.15 Precipitación Media Mensual

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2009	185.17	57.47	258.77	147.93	327.83	443.23	272.13	391.83	199.73	283.83	209.97	95
2010	11.33	91.85	209.23	392.43	212.47	309.53	393.83	240.1	208.97	181.87	201.7	179.2
2011	100.5	88.87	245.5	234.53	519.83	401.8	355.6	445.2	367.27	263.93	246.33	230.33
2012	29.3	100.13	340.53	297.93	307	367.3	430.9	399.1	217.6	240.43	188.03	166.87
2013	7.8	105.03	194.27	300.23	294.27	281.4	410.33	375.8	235.98	193.5	143.13	175.23
2014	46	97.1	189.07	310.77	368.43	519.5	405.83	372.9	212.47	272.3	236.25	96.05
2015	164.27	71.23	168.5	330.93	344.33	441.33	363	277.5	216.43	234.93	287.5	133.1
2016	4.5	99.55	195.25	510.2	451.6	363.1	430.65	353.1	408.8	170.7	205	0
2017	164.27	71.23	168.5	330.93	344.33	441.33	363	277.5	216.43	234.93	287.5	133.1
2018	10	100.55	190.4	500	457	367.1	431.8	360.1	410.1	170.45	297.8	190.1

Fuente: Propia

Grafica 12 Precipitación Media Mensual



Fuente: Propia

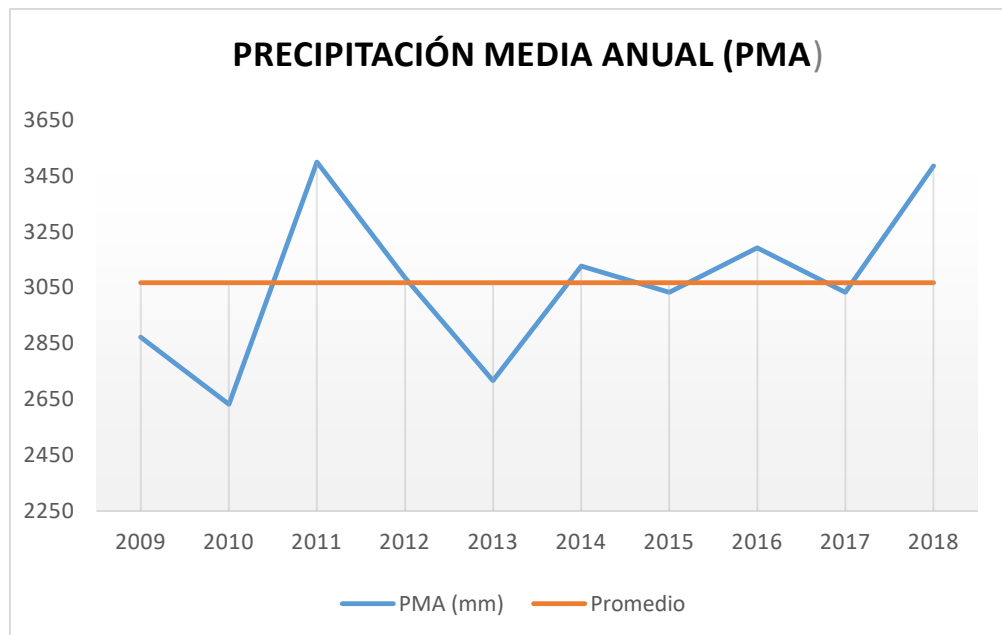
Se puede evidenciar que para el año 2018 habido un incremento en la precipitación con tiempos lluviosos en el mes de abril de 500mm y los más secos para el mes de febrero con precipitaciones de 100,55 mm

Tabla 9.16 Precipitación Media Anual

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA) DE LA CIUDAD DE SAN JOSE DEL GUAVIARE ENTRE LOS AÑOS 2008 A 2018		
Año	PMA (mm)	Promedio
2009	2872.89	3067.78
2010	2632.51	3067.78
2011	3499.69	3067.78
2012	3085.12	3067.78
2013	2716.97	3067.78
2014	3126.67	3067.78
2015	3033.05	3067.78
2016	3192.45	3067.78
2017	3033.05	3067.78
2018	3485.4	3067.78
TOTAL	30677.8	3067.78
PMA de Diseño (mm)	3067.78	

Fuente: Propia

Grafica 13 Precipitación Media Anual



Fuente: Propia

Como se muestra en grafica 13 los periodos donde se presentaron mayores precipitaciones medias anuales fueron en los años 2011 y 2018 y tiempos de poca lluvias para lo años 2010 y 2013 para lo cual se estima una precipitacion media anual de diseño de 3050 mm

9.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para realizar el diseño del pavimento flexible por el método racional se necesitan datos bases o datos de entrada para iniciar el desarrollo del diseño, como lo son el tránsito, estudios de suelos para determinar el porcentaje de CBR de la subrasante y la temperatura promedio de la zona donde se implementará la estructura de pavimento. También se utilizaron softwares como Excel y Windepav para el desarrollo del proyecto.

Debido a que el diseño es para un pavimento flexible el periodo de diseño (n) será para 10 años, por consiguiente se utilizó la proyección del tránsito al año 2029 haciendo referencia que el proyecto se iniciará en el presente año en curso (2019), se tiene en cuenta una tasa de crecimiento (r) del 1.63%.

Se realizo una mejoramiento a la subrasate implemantando el sistema de geoceldas , las cual somete un material a un efecto de cofinamiento, generando un incremento del modulo y disminuyendo asi los esfuezos sobre la subrasante, lo que permite la

Diseño de la estructura de pavimentos, implementando geoceldas, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en san José del Guaviare–Guaviare

reduccion de asentamientos totales y diferenciales , esto incrementado la vida util de la estructura de pavimento.

Por lo consiguiente se realizaron los siguientes calculos en windepav

Tabla 9.17 Sistema de carga de los vehículos

ARCHIVO:	00-1	
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:	San José del G/re	
RADIO DE LAS RUEDAS:	10.5	cm
DISTANCIA ENTRE LOS CENTROS DE LAS RUEDAS :	31.5	cm
PRESIÓN DE CONTACTO DE LAS RUEDAS:	5.887	(kgf/cm ²)

Fuente: Propia

Tabla 9.18 Estructura y criterios de evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa No.	Espesor (cm)	Módulo E (kgf/cm ²)	Relación de Poisson	Condición de interfase
1	10	1.43E+04	0.3	Continua
2	15	2.14E+03	0.35	Continua
3	25	1.02E+03	0.35	Continua
4	20	2.10E+03	0.35	Continua
5	Semi infinita	3.06E+02	0.45	

Fuente: Propia

Tabla 9.19 Posición del valor máximo para una carga

POSICIÓN DEL VALOR MÁXIMO PARA UNA CARGA
A Bajo una rueda simple
B Bajo una de las ruedas de la carga
C Al centro de la carga

Fuente: Propia

Tabla 9.20 Respuestas Estructurales en la interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	Profundidad (cm)	Sigma T (kgf/cm ²)		Sigma Z (kgf/cm ²)		Épsilon T (microstrain)		Épsilon Z (microstrain)	
1	0	1.15E+01	B	5.88E+00	A	475	B	-174	C
	10	-6.11E+00	B	2.29E+00	B	-374	B	399	A
2	10	1.02E-01	B	2.29E+00	B	-374	B	1010	B
	25	-6.30E-01	C	8.70E-01	C	-383	C	563	C
3	25	-5.46E-02	C	8.70E-01	C	-383	C	841	C
	50	2.55E-02	C	3.46E-01	C	-107	C	318	C
4	50	-1.45E-01	C	3.46E-01	C	-107	C	209	C
	70	-5.23E-01	C	1.43E-01	C	-190	C	238	C
5	70	1.43E-02	C	1.43E-01	C	-190	C	420	C

Fuente: Propia

En la tabla 9.2 se ilustran los valores de esfuerzos y deformaciones admisibles de acuerdo con el método racional, así como los valores obtenidos mediante el programa WinDEPAV.

Tabla 9.21 Carga en la superficie del pavimento

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)	79.59
Radio de curvatura (m)	100.75
Deflexión x Radio (m x mm/100)	8018.1

Fuente: Propia

9.5.1 Diseño del pavimento con Geoceldas

Se realizó un diseño de pavimento mediante el uso de geoceldas. Para el efecto se adoptó el material de llenado de la geocelda como un material de tipo granular. Teniendo en cuenta que los módulos de elasticidad serían incrementados, se analizó inicialmente un diseño con menores espesores en algunas capas como se ilustra a continuación:

Tabla 9.22 Espesores de la estructura

Espesores de Estructura (cm)				
CA MSC-19	BG	SBG	MTO	Total
10,0	15	25	20	70

Fuente: Propia

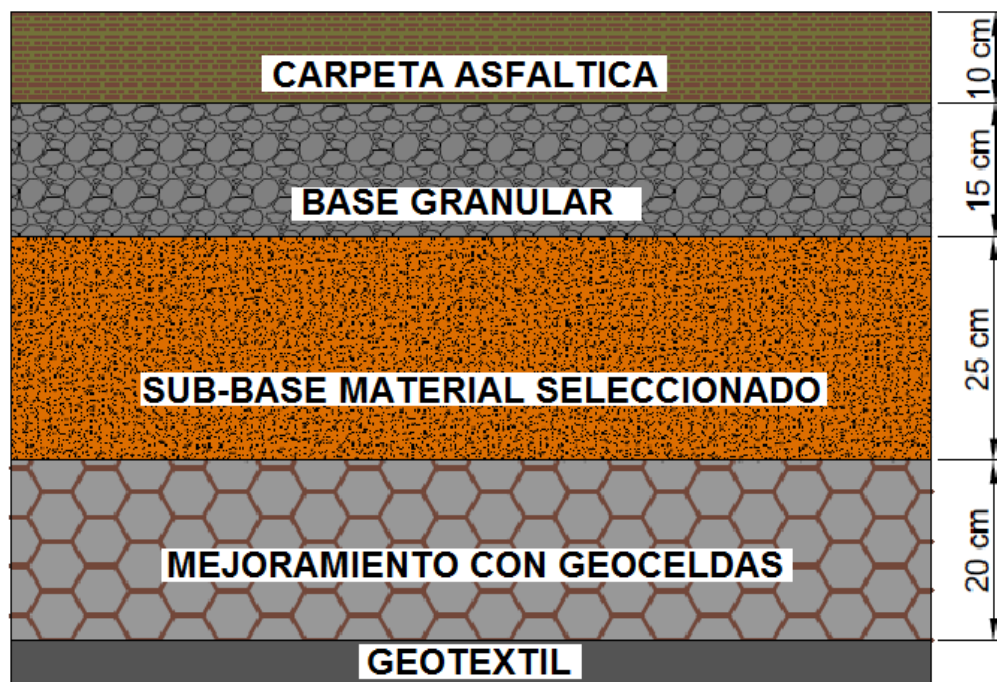
Así mismo se obtuvo un coeficiente de factor de mejora obtenido en la tabla 8.1 El material dellenado para el presente caso consistió en un material tipo subbase granular con un módulo de 100 MPa y el cual reemplazó la capa de base granular que es la capa con mayores costos. Así mismo se efectuó el cálculo para una geocelda de 15cm de altura con un recubrimiento de 5cm.

Tabla 9.23 Módulos de Diseño

Módulo de Diseño (MPa)			
Diseño			ELMOD
MSC-19	Base Granular	SubBase Granular	Subrasante
1.400	210	100	30

Fuente: Propia

Ilustración 5 Estructura de Pavimento



Fuente: Propia

A partir de lo anterior se tiene que con el uso de sistemas de geoceldas para la estabilización de la subrasante se aumenta el porcentaje de comportamiento elástico, esto quiere decir que el suelo tendrá mayor resistencia frente la aplicación de cargas, esto haciendo que disminuyan los espesores de la estructura de pavimento.

10.RESULTADOS E IMPACTOS

La deficiente intercomunicación terrestre de las vías terciarias en San José del Guaviare-Guaviare genera efectos negativos en la productividad y competitividad de la zona. De esta manera se presenta congestión en las vías por los pasos restringidos, aumento de los tiempos de viaje y un efecto directo en el incremento de los costos de transporte. Estas deficiencias también pueden afectar el traslado de pacientes hacia los hospitales o centro de salud, inasistencia de estudiantes a escuelas y colegios y pérdida o sobrecostos de los productos que se comercializan en la zona. Por lo anterior se es necesario mejorar las vías de acceso ya que esto influiría de manera positiva la accesibilidad del sector, así como también la comodidad y la seguridad de cada individuo que allí reside.

Tabla 10.1 Resultados e Impactos

ASPECTO	IMPACTO	AFECTACIÓN	PLAZO
SOCIAL	Rehabilitar la vía rural que se encuentra en mal estado en San José del Guaviare vereda la trocha Ganadera	Reduce los tiempos de viaje especialmente en el traslado hacia las escuelas, puntos de venta de productores agropecuarios y ganaderos.	Corto
	Mejoramiento de la actividad económica y productiva de la zona	Incrementar el uso de servicios de salud.	Mediano
	Disminución de enfermedades respiratorias debido a las condiciones que presenta la vía	Aumento de la superficie agrícola cultivada.	Mediano
		Restringe la calidad de vida y salud de los habitantes de la zona.	Largo
AMBIENTAL	Reutilizar materiales presentes en la vereda trocha ganadera para la rehabilitación de la vía	Disminuye costos de la obra y mantenimiento durante la construcción de la vía.	Corto
ECONOMICO	Aumentar la población y el desarrollo atrayendo nuevas oportunidades de trabajo.	Aumento del desarrollo turístico y paisaje que se encuentra en la zona.	Mediano

Fuente: Elaboración Propia.

11. CONCLUSIONES

- De acuerdo al estudio de movilidad, se conocieron las necesidades de la comunidad debido al transporte, esto relacionado con la evolución que ha tenido el municipio en temas de comercialización agrícola, ganadera y forestal; para lo cual se crea la necesidad de replantear alternativas para mejorar su calidad de vida sus procesos de comercialización, buscando soluciones eficaces que mejoren la movilidad cumpliendo con las normas y estándares de calidad.
- Los ensayos de laboratorio lograron identificar y analizar de manera detallada el tipo de suelo presente en la zona, su nivel freático, el contenido de humedad, los límites de Atterberg, el CBR, el perfil estratigráfico; para tener datos certeros al momento de diseñar la estructura de pavimento, esto con el fin que sea un factor determinante en la solución que debe adaptarse al proyecto.
- Con los datos obtenidos durante los últimos 10 años se pudo conocer las temperaturas y precipitaciones promedio, teniendo como resultado el clima presente en la zona estudio
- El uso de la geoceldas da una alternativa de diseño que puede alargar la vida útil de la estructura puesto que se lograría el confinamiento suficiente para soportar las deformaciones a las cuales la estructura de pavimento estará expuesta.
- Se diseñó una estructura de pavimento flexible con mejoramiento de la subrasante con geoceldas por medio de la ecuación IVANOV Y por la metodología Racional; se comprobó que los esfuerzos y las deflexiones son menores a los valores admisibles dados por las leyes de comportamiento a la fatiga de la mezcla asfáltica de la metodología Shell.
- Se recomienda contar con personal capacitado para el momento de instalación y llenado de las geoceldas con el fin de tener un rendimiento óptimo y con buenas prácticas de manejo. Además, se debe garantizar que el CBR del terreno no sea menor al 1% por que podría llegar a enterrarse ya que las geoceldas tienen un excelente comportamiento lateral pero no vertical; aunque se debe investigar más a fondo otras nuevas formas de instalación para suelos con CBR menores al 3%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. D. I. D. Guaviare, «Estado De Las Vías Rurales En El Departamento Del Guaviare,» San Jose Del Guaviare, 2018.
- [2] A. Equipo Humanitario, «Mision De Acompañamiento Y Evaluacion Necesidades,» San Jose Del Guaviare, 2018.
- [3] Fedegan, «Ganaderos De San Jose Del Guaviare Sin Opciones De Transporte,» Contexto Ganadero, 1 Mayo 2019.
- [4] Gobernacion De Guaviare, «Diagnostico Estadistico,» Guaviare, 2016.
- [5] Camara De Comercio De San Jose Del Guaviare, «Situacion Socio Economica Del Departamento Del Guaviare,» San Jose Del Guaviare, 2017.
- [6] E. P. Wigner, «Theory Of Traveling Wave Optical Laser,» Phys. Rev., Vol. 134, Pp. A635-A646, 2005.
- [7] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [8] L. L. A. H. Miao, «A Specification Based Approach To Testing Polymorphic Attributes,» De Formal Methods And Software Engineering: Proceedings Of The 6th International Conference On Formal Engineering Methods, Icfem 2004, Seattle, Wa, Usa,, November 8-12. evo
- [9] A. Rezi And M. Allam,, «Techniques In Array Processing By Means Of Transformations,» De Control And Dynamic Systems Vol. 69, San Diego, Academic Press, 1995, Pp. 133-180.
- [10] «Tenstep,» [En Línea]. Available: <https://tenstep.com/>
- [11] A. M. Fonseca, Ingenieria De Pavimentos, 2da edición. Bogotá: Agora Editores, 2002.
- [12] S. L. Blass, Evolución Estructural. 1era edición. Indianapolis: Wiley, 2009.
- [13] J. J. Agudelo, "Diseño Geometrico De Vias" Trabajo de grado de Especialización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellin, 2002.
- [14] "Geoceldas" - Syntex Colombia SAS", Syntex Colombia SAS, 2019. [Online]. Available: <https://syntex.com.co/productos/geocelda/>.