



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS
ESTRUCTURALES

PROYECTO ESPECIAL:

Análisis de resultados de deflectometría para la evaluación de la respuesta de los pavimentos para diferentes épocas del año.

Realizado por

Ing. Gustavo Badilla Vargas
Denia Sibaja Obando

Revisado por:

Ing. Fabián Elizondo

23 de junio
2008

CONTENIDO

ANTECEDENTES.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
ALCANCES	4
METODOLOGÍA.....	6
UBICACIÓN DE PUNTOS EVALUADOS CON DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO	7
Ubicación geográfica.....	7
Clasificación climática	7
RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	19
Región Climática Caribe (C).....	19
Región Climática Cordillera de Guanacaste Tilarán (CGT).....	21
Región Climática Caribe Sur (CS).....	22
Región Climática Golfo de Nicoya Llanura Guanacaste (GNG).....	24
Región Climática Los Santos (LS)	26
Región Climática Norte (N)	27
Región Climática Pacífico Central (PC).....	29
Región Climática Península de Nicoya (PN)	30
Región Climática Upala y Los Chiles (UC).....	31
Región Climática Valle Central (VC)	32
Región Climática Valle del General (VG)	35
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES.....	39

ANTECEDENTES

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar cada dos años una **Evaluación de la Red Vial Nacional (ERVN)** pavimentada, la cual sirve como instrumento para el seguimiento de la gestión de dicha infraestructura y la inversión pública realizada.

Dentro del proceso de mejora continua del LanammeUCR, y tomando en cuenta que los datos de la Evaluación de la Red Vial Nacional (ERVN) podrían ser medidos en diferentes fechas, se plantea la necesidad de cuantificar la variación de los resultados producto de los cambios en la humedad de las capas granulares y suelos, relacionado con la estación climática en la cual fueron tomados.

Se realiza un análisis estadístico para verificar la existencia de variaciones en la respuesta estructural del pavimento asociado con la estación climática; con base en datos de deflectometría de impacto recopilados en campañas de medición realizadas en diferentes épocas del año desde el 2003, en **32 diferentes puntos localizados en 6 regiones geográficas del país.**

OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la variación en la respuesta estructural del pavimento (D1), con respecto a la época del año en la que se realiza el ensayo con el deflectómetro de impacto, a través de un análisis estadístico de estos parámetros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tabular la información de evaluaciones con el deflectómetro de impacto de años anteriores.
- Ubicar y clasificar los puntos según la zona climática¹

¹ Orozco Erick. Zonificación Climática de Costa Rica para la Gestión de Infraestructura Vial. 2007

- Asociar los meses en los que se realizaron las evaluaciones con el deflectómetro de impacto, con los meses característicos de las dos estaciones (seca y lluviosa) definidas para cada zona climática del país.
- Analizar estadísticamente la variación en la respuesta estructural del pavimento, medida con el D1 en el deflectómetro de impacto, respecto a la época del año en que se realiza el ensayo.

ALCANCES

En este informe se presentan las mediciones del D1 (deflexión medida bajo el centro del plato de carga del deflectómetro de impacto) de 32 diferentes puntos localizados en 6 regiones geográficas y en 11 zonas climáticas del país, para los cuales se conoce la estructura del pavimento (espesores) y materiales que los conforman.

El análisis de la variación estacional únicamente fue verificada para aquellos puntos en los que se realizaron mediciones en las distintas estaciones climáticas en el año; ya que de lo contrario no sería posible evaluar la influencia de la variación de la humedad en la respuesta estructural del pavimento, caso contrario puede asociarse a diferentes causas, tales como: actividades de reconstrucción y mantenimiento, reducción de la capacidad estructural por condiciones de servicio, entre otras.

Se reconoce que la estructura del pavimento influye directamente en su respuesta estructural; estructuras robustas (de mayores espesores y módulos resilientes altos) presentarán deflexiones menores.

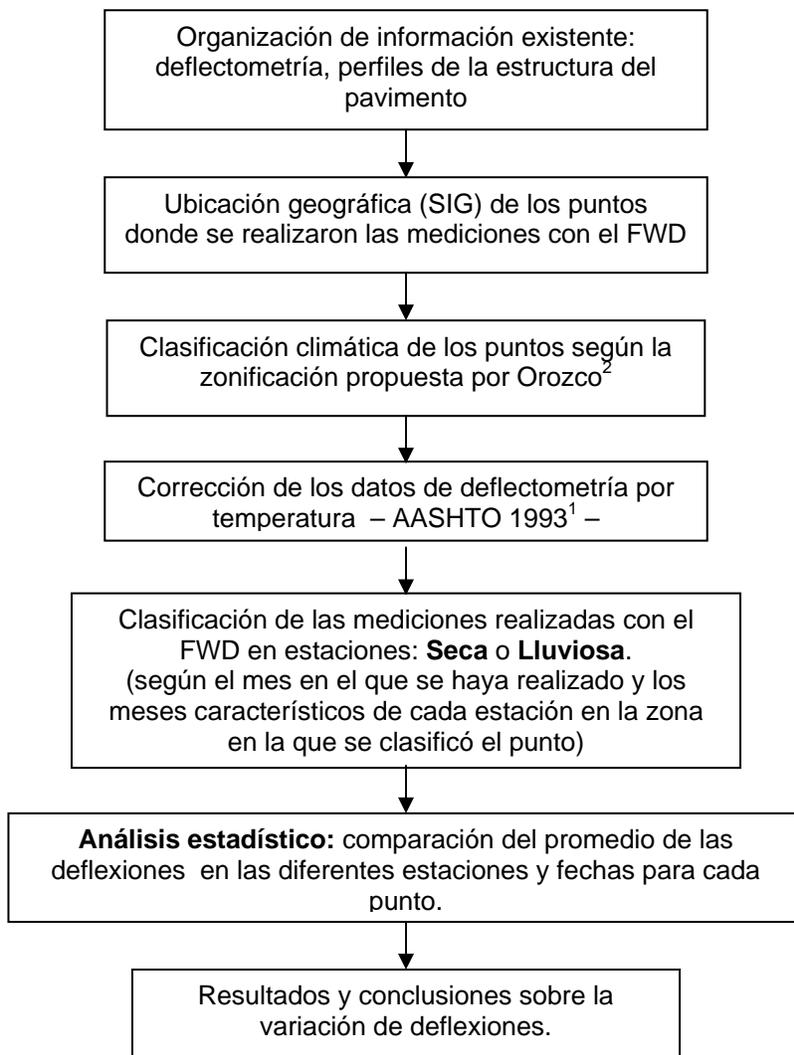
El único parámetro que se considerará, con respecto a la estructura, en este estudio es el espesor de la carpeta asfáltica, el cuál se toma en cuenta para realizar los cálculos necesarios para corregir los datos de deflectometría por temperatura.

El método utilizado, para realizar la corrección por temperatura es el propuesto por el “Asphalt Institute” y la guía de diseño “AASHTO 1993²” el cual toma en cuenta: el espesor de la carpeta, la temperatura de la superficie y la del aire.

Para definir si existe variación en los valores de las deflexiones medidas en diferentes estaciones climáticas, se emplearán herramientas estadísticas para comparar los promedios de las deflexiones medidas cada 10 m con el sensor D1, en un tramo de 220 m para cada punto de análisis, distribuidos en las distintas regiones del país y ubicados cerca de estaciones meteorológicas.

² AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., 1993.

METODOLOGÍA

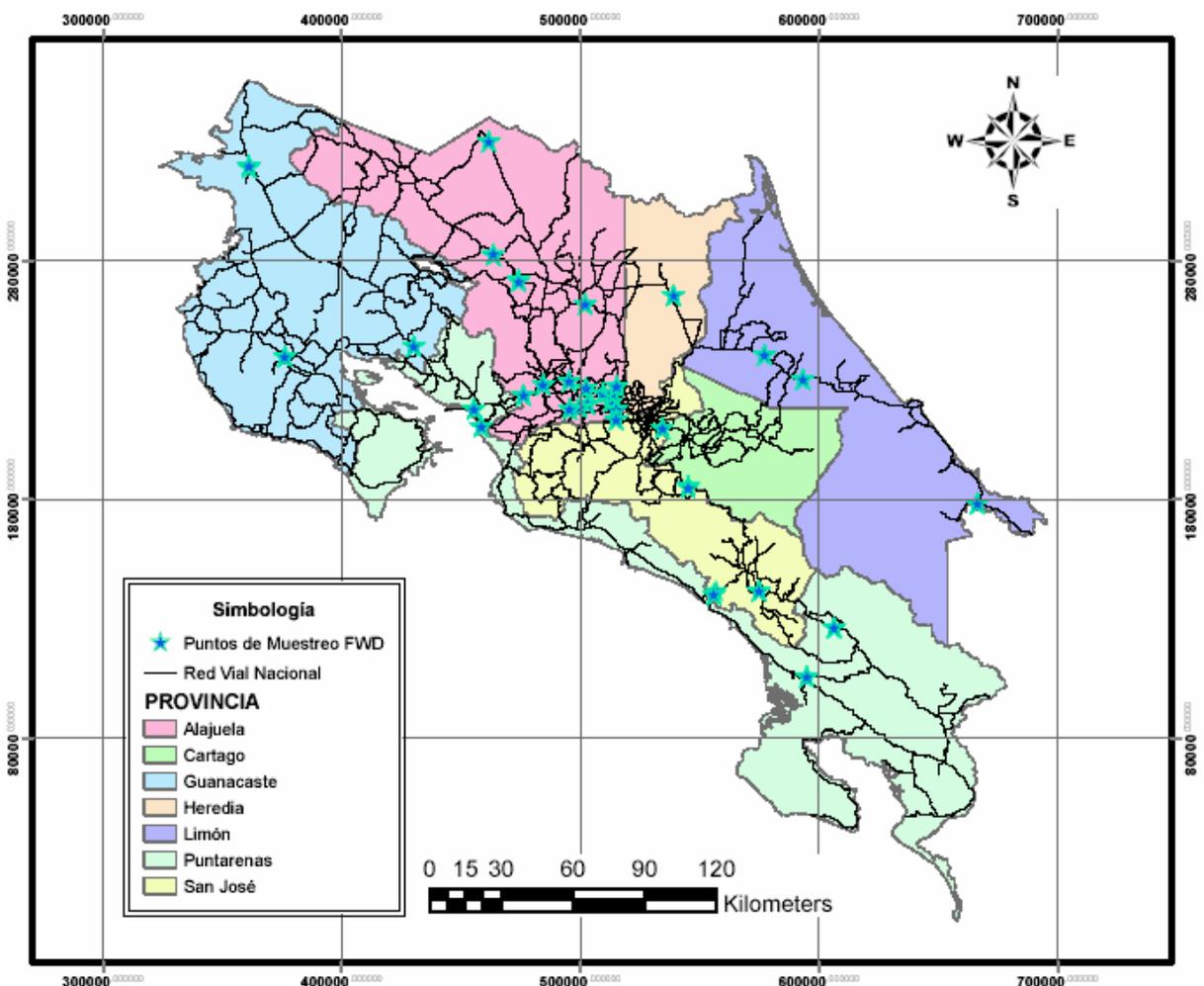


UBICACIÓN DE PUNTOS EVALUADOS CON DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

Ubicación geográfica

A continuación se presenta el Mapa 1, donde se muestra la ubicación geográfica de todos los puntos evaluados con el deflectómetro de impacto. (En el anexo A se encuentran todos los mapas ampliados)

Se puede observar que la provincia de Alajuela es la que posee más puntos evaluados.



Mapa 1: Ubicación geográfica de puntos, por provincia

Clasificación climática

Para realizar la clasificación de los puntos según el clima se tomó como base la información presentada en el proyecto: Zonificación Climática de Costa Rica para la Gestión de

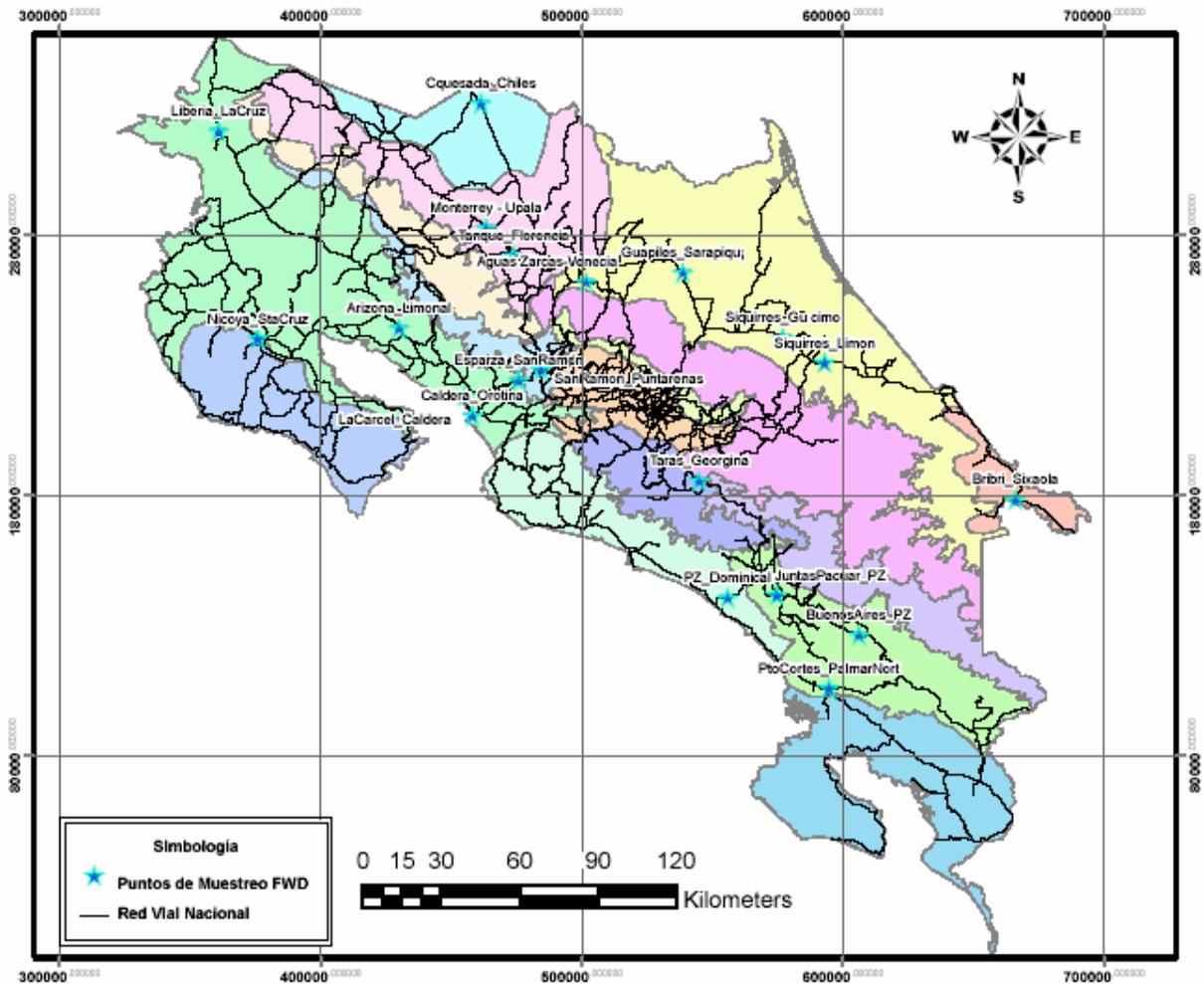
Infraestructura Vial³. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la zonificación climática propuesta para Costa Rica, así como los meses característicos para cada estación por zona climática.

Tabla 1 Zonas Climáticas de Costa Rica y meses característicos

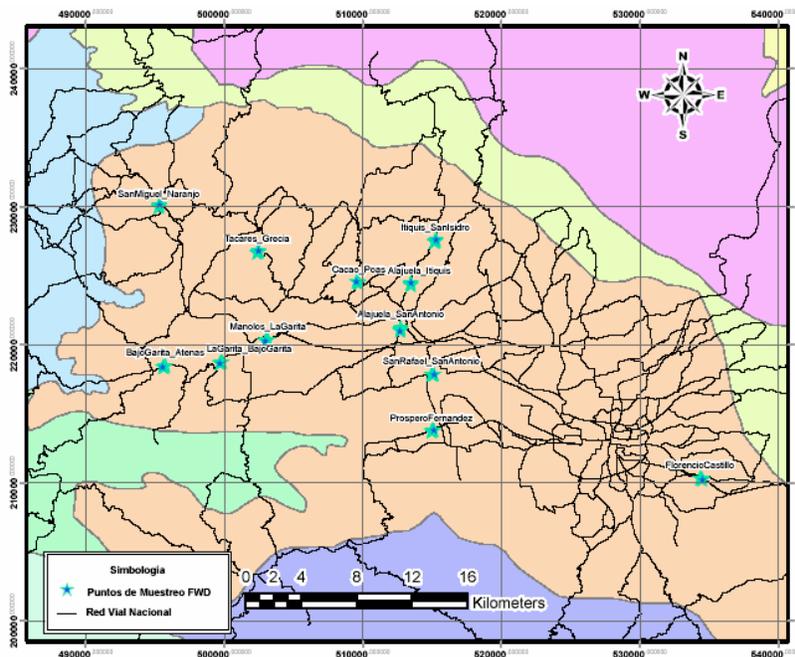
Zona	Símbolo	Época seca	Época de Transición	Época lluviosa
Caribe	C		setiembre	marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Caribe Alta	CA		setiembre	marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Cordillera Guanacaste - Tilarán	CGT	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Caribe Sur	CS		marzo, setiembre	abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Golfo Nicoya - Llanura Guanacaste	GNG	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Los Santos - Caribe Alta	LS	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Norte	N	-	marzo	abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Norte Alta	NA	marzo	febrero, abril	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero
Pacífico Central	PC	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Península de Nicoya	PN	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Pacífico Sur	PS	enero, febrero, marzo	abril	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre
Talamanca	T	enero, febrero, marzo	diciembre	abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Upala y los chiles	UC	enero, febrero, marzo, abril	diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Valle Central	VC	diciembre, enero, febrero, marzo, abril	finales abril, principio noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Volcánica Central Pacífico	VCP	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Valle del General	VG	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre

Para realizar el análisis de los datos se consideró que la condición predominante para los meses de transición era la correspondiente a la estación inmediatamente anterior. Por ejemplo en el caso de la Zona Climática CGT, se tiene que abril es el mes de transición de la estación seca a la lluviosa, por lo tanto se considera que abril conserva las características de la estación seca. Por otro lado diciembre, es el mes de transición de la estación lluviosa a la seca, por lo tanto se considera que diciembre conserva las características de la estación lluviosa.

³ Orozco, Erick. Zonificación Climática de Costa Rica para la Gestión de Infraestructura Vial. Proyecto de Graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. San José. 2007



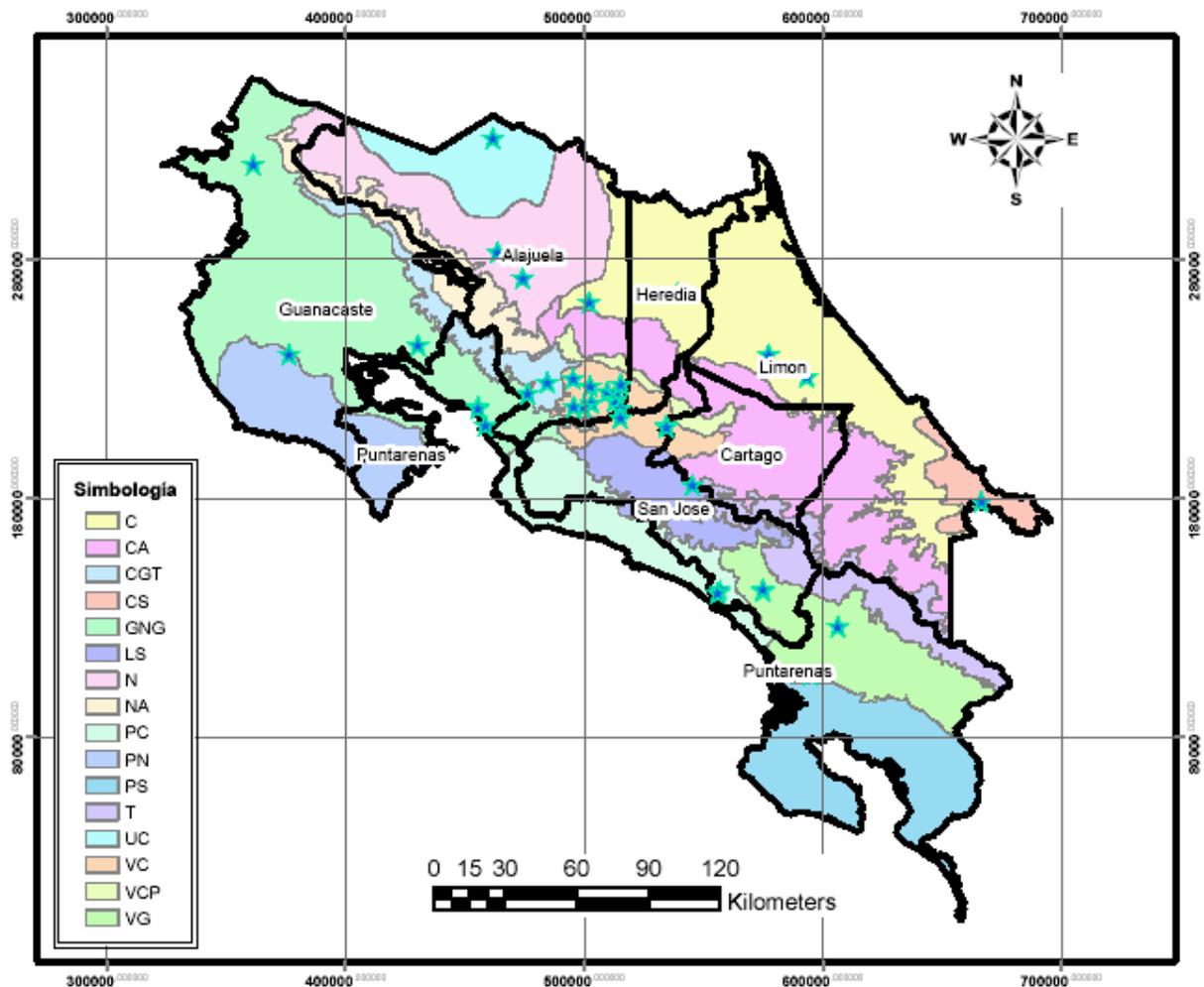
Mapa 2: Ubicación de puntos para todas las zonas climáticas, excepto Valle Central



Mapa 3: Ubicación de puntos para la zona climática: Valle Central

En el Mapa 2 se observa la ubicación de los puntos en las distintas zonas climáticas, excepto para el Valle Central que se presenta en el Mapa 3 en una escala diferente, debido a la alta densidad de puntos en esta zona.

Con base en el Mapa 4 y la Tabla 1 es posible definir la estación (Seca o Lluviosa) en la que fueron tomados los datos de deflectometría para cada punto, el resumen se presenta en la Tabla 2.



Mapa 4: Ubicación de puntos por provincia y zona climática

Tabla 2 Resumen de mediciones realizadas con el FWD

Punto	Fechas FWD	Estación	Ubicación Geográfica	Región Climática
Punto 1 Monterrey - Jicarito	21-10-03	Lluviosa	Alajuela	Norte
	20-01-04	Lluviosa		
	20-10-04	Lluviosa		
	25-01-05	Lluviosa		
	25-07-06*	Lluviosa		
Punto 2 Aguas Zarcas - Venecia	22-10-03	Lluviosa	Alajuela	Caribe
	21-01-04	Lluviosa		
	19-10-04	Lluviosa		
	24-01-05	Lluviosa		
	24-07-06*	Lluviosa		
Punto 3 Tanque - Florencia	22-10-03	Lluviosa	Alajuela	Norte
	20-01-04	Lluviosa		
	20-10-04	Lluviosa		
	25-01-05	Lluviosa		
	25-07-06*	Lluviosa		
Punto 4 Ciudad Quesada - Los Chiles	22-10-03	Lluviosa	Alajuela	Upala – Los Chiles
	21-01-04	Seca		
	19-10-04	Lluviosa		
	24-01-05	Seca		
	24-07-06*	Lluviosa		
Punto 5 Cerro de la Muerte -	03-11-04	Lluviosa	San José	Los Santos
	22-04-05	Seca		
	07-08-06*	Lluviosa		
Punto 6 Barú - Dominical	10-10-03	Lluviosa	San José	Pacífico Central
	02-11-04	Lluviosa		
	07-04-05	Seca		
	07-08-06*	Lluviosa		
Punto 7 Juntas Pactar - San Isidro	10-10-03	Lluviosa	San José	Valle del General
	03-11-04	Lluviosa		
	08-04-05	Seca		
	08-08-06*	Lluviosa		
Punto 8 Buenos Aires - Juntas	10-10-03	Lluviosa	Puntarenas	Valle del General
	02-11-04	Lluviosa		
	07-04-05	Seca		
	08-08-06*	Lluviosa		

Tabla 2 (cont.) Resumen de mediciones realizadas con el FWD

Punto	Fechas FWD	Estación	Ubicación Geográfica	Región Climática
Punto 9 Río Claro - Palmar Norte	10-10-03	Lluviosa	Puntarenas	Valle del General
	02-11-04	Lluviosa		
	07-04-05	Seca		
	07-08-06*	Lluviosa		
Punto 10 Guápiles Sarapiquí -	27-01-04	Lluviosa	Heredia	Caribe
	22-10-04	Lluviosa		
	02-02-05	Lluviosa		
	12-07-06*	Lluviosa		
Punto 11 Siquirres- Guácimo	28-01-04	Lluviosa	Limón	Caribe
	22-10-04	Lluviosa		
	02-02-05	Lluviosa		
	12-07-06*	Lluviosa		
Punto 12 Siquirres Limón -	27-01-04	Lluviosa	Limón	Caribe
	21-10-04	Lluviosa		
	26-01-05	Lluviosa		
	12-07-06*	Lluviosa		
Punto 13 Bribri - Sixaola	28-01-04	Lluviosa	Limón	Caribe Sur
	21-10-04	Lluviosa		
	26-01-05	Lluviosa		
	13-07-06*	Lluviosa		
Punto 14 Manolos - La Garita	13-03-02	Seca	Alajuela	Valle Central
	03-11-03	Lluviosa		
	13-10-04	Lluviosa		
	20-04-05	Seca		
	17-07-06*	Lluviosa		
Punto 15 La Garita - Bajo Garita	13-03-02	Seca	Alajuela	Valle Central
	03-11-03	Lluviosa		
	13-10-04	Lluviosa		
	20-04-05	Seca		
	17-07-06*	Lluviosa		
Punto 16 Bajo Garita - Atenas	14-03-02	Seca	Alajuela	Valle Central
	03-11-03	Lluviosa		
	13-10-04	Lluviosa		
	20-04-05	Seca		
	17-07-06*	Lluviosa		

Tabla 2 (cont.) Resumen de mediciones realizadas con el FWD

Punto	Fechas FWD	Estación	Ubicación Geográfica	Región Climática
Punto 17 Cacao - Sn Pedro Poás	01-08-02	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
	02-11-03	Lluviosa		
	25-11-04	Lluviosa		
	27-04-05	Seca		
	10-07-06*	Lluviosa		
Punto 18 Tacares - Grecia	01-08-02	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
	03-10-03	Lluviosa		
	25-11-04	Lluviosa		
	27-04-05	Seca		
	11-07-06*	Lluviosa		
Punto 19 Alajuela - San Antonio	07-08-02	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
	15-10-04	Lluviosa		
	18-05-05	Lluviosa		
	28-07-06*	Lluviosa		
Punto 20 San Rafael - San Antonio	08-08-02	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
	14-10-04	Lluviosa		
	18-05-05	Lluviosa		
	28-07-06*	Lluviosa		
Punto 21 Alajuela Itiquís -	14-03-02	Seca	Alajuela	Valle Central
	01-10-03	Lluviosa		
	11-10-04	Lluviosa		
	21-04-05	Seca		
	10-07-06*	Lluviosa		
Punto 22 Itiquís - San Isidro	14-03-02	Seca	Alajuela	Valle Central
	01-10-03	Lluviosa		
	11-10-04	Lluviosa		
	21-04-05	Seca		
	10-07-06*	Lluviosa		
Punto 23 Int Ruta 1 - Naranjo	07-08-02	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
	21-10-03	Lluviosa		
	05-11-04	Lluviosa		
	27-04-05	Seca		
	11-07-06*	Lluviosa		
Punto 24 San Ramón Puntarenas -	05-11-04	Lluviosa	Alajuela	Cordillera Guanacaste Tilarán
	27-04-05	Seca		
	18-07-06*	Lluviosa		

Tabla 2 (cont.) Resumen de mediciones realizadas con el FWD

Punto	Fechas FWD	Estación	Ubicación Geográfica	Región Climática
Punto 25 Florencio del Castillo	26-11-04	Lluviosa	San José	Valle Central
	22-04-05	Seca		
	14-07-06*	Lluviosa		
Punto 26 Próspero Fernández	26-11-04	Lluviosa	San José	Valle Central
	29-03-05*	Seca		
	14-07-06*	Lluviosa		
Punto 33 San Rafael - Alajuela	27-07-06*	Lluviosa	Alajuela	Valle Central
Punto 27 Nicoya - Santa Cruz	29-10-04	Lluviosa	Guanacaste	Península Nicoya
	26-04-05	Seca		
	19-07-06*	Lluviosa		
Punto 28 Liberia - La Cruz	28-10-04	Lluviosa	Guanacaste	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	25-04-05	Seca		
	18-07-06*	Lluviosa		
Punto 29 Arizona - La Irma	28-10-04	Lluviosa	Guanacaste	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	25-04-05	Seca		
	18-07-06*	Lluviosa		
Punto 30 La Cárcel (Puntarenas) - Caldera	04-11-04	Lluviosa	Puntarenas	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	26-04-05	Seca		
	20-07-06*	Lluviosa		
Punto 31 Esparza – San Ramón -	28-10-04	Lluviosa	Puntarenas	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	25-04-05	Seca		
	18-07-06*	Lluviosa		
Punto 32 Caldera – Orotina	04-11-04	Lluviosa	Puntarenas	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	26-04-05	Seca		
	20-07-06*	Lluviosa		

* *Nota:* Las fechas marcadas con asteriscos no poseen información de la Temperatura del Pavimento en el momento de la realización de las mediciones, por lo cual fueron descartadas para el análisis.

Como se puede observar en la Tabla 1 es de esperarse que para algunas zonas, a pesar de que se realicen mediciones en distintos meses del año, como se observa en la **Tabla 2**, todas las mediciones correspondan a meses lluviosos. Esto se debe a que en algunas regiones ni siquiera existen meses de época seca y en otras solo de uno a cuatro meses (más del 66% del año llueve).

CORRECCIÓN DE DEFLECTOMETRÍA POR TEMPERATURA

Hay que tomar en cuenta que el valor del módulo de la mezcla asfáltica disminuye cuando aumenta la temperatura, por lo tanto se deben corregir las deflexiones medidas en el campo para a una temperatura estándar. Normalmente dichas deflexiones se corrigen a 20° C

Dicha corrección no es necesaria cuando el pavimento asfáltico se encuentra severamente agrietado, esto porque la capa se desempeña como un conjunto de bloques de diferente tamaño, con un entramamiento entre ellos, y no como una capa elástica continua.

El Instituto de Asfalto estableció un método para corrección de las deflexiones en función de la temperatura de la capa asfáltica. El procedimiento consiste en:

1. *Determinar la temperatura promedio de la capa asfáltica:* Para ello se supone un gradiente lineal de temperatura; por lo tanto la temperatura media de la capa asfáltica será el promedio entre la temperatura superficial y la de la fibra inferior. La temperatura del pavimento viene dada por:

$$t_{pavimento} = \frac{1}{2} (t_{sup. pav} + t_{inf. pav})$$

donde,

$t_{pavimento}$ = temperatura promedio del pavimento (°C)

$t_{sup. pav}$ = temperatura de la superficie del pavimento en el ensayo (°C)

$t_{inf. pav}$ = temperatura en la fibra inferior del pavimento, (°C) estimada con el uso de la **Figura 1**.

Nótese que es necesario conocer la temperatura superficial del pavimento en el ensayo y la temperatura media del aire de los 5 días previos al ensayo, así como el espesor de la capa asfáltica.

En la Tabla 3 se muestran las temperaturas promedio del aire mensuales, obtenidas de las estaciones meteorológicas cercanas a los puntos de evaluación, se supone entonces que esta temperatura corresponde a la temperatura media del aire de los 5 días previos al ensayo.

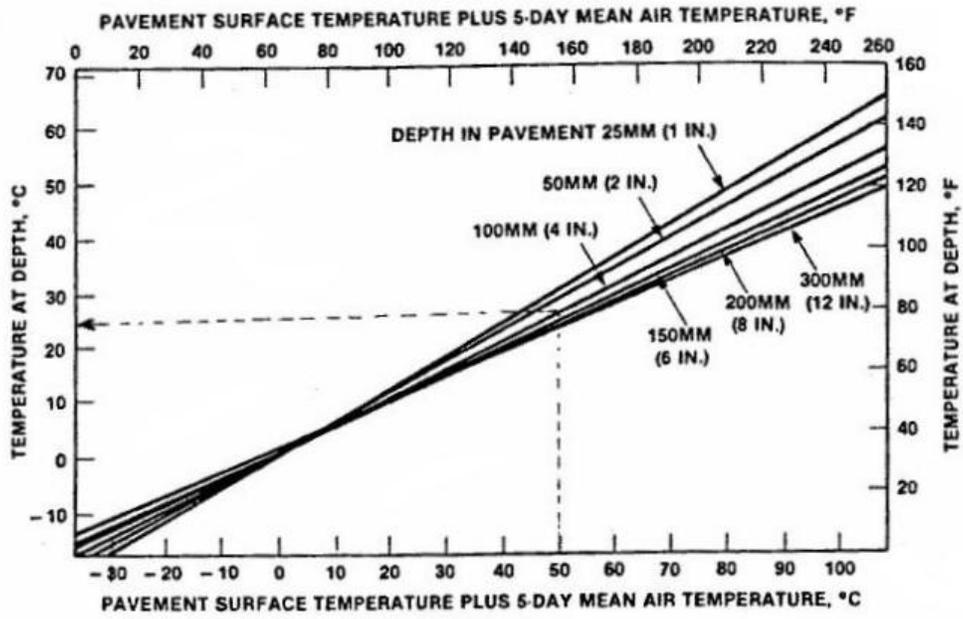


Figura 1: Temperatura en función del espesor de la capa asfáltica, Asphalt Institute 1983

Tabla 3 Temperatura promedio mensual para los puntos evaluados

Punto	Región Climática	Temperatura promedio												
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Punto 1. Monterrey - Jicarito	Norte	24	25	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	25
Punto 2. Aguas Zarcas - Venecia	Norte	21	22	23	23	24	23	23	23	23	23	22	22	23
Punto 3. Tanque - Florencia	Norte	24	25	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	25
Punto 4. Ciudad Quesada - Chiles	Norte	25	25	26	27	27	27	26	26	27	26	26	25	26
Punto 5. Taras - Georgina	Sur	17	17	18	18	18	17	18	17	17	17	17	17	17
Punto 6. PZ - Dominical	Sur	22	21	23	23	23	22	22	22	22	22	21	22	22
Punto 7. Juntas Pacuar - PZ	Sur	23	23	24	24	24	23	23	23	23	23	23	22	23
Punto 8. Buenos Aires - PZ	Sur	26	26	27	27	26	26	26	26	26	25	25	25	26
Punto 9. Pto Cortez - Palmar	Sur	27	27	28	28	27	27	27	27	27	26	26	27	27
Punto 10. Guápiles - Sarapiquí	Atlántico	25	25	25	26	27	27	26	27	27	27	26	25	26
Punto 11. Siquirres - Guácimo	Atlántico	23	23	24	25	25	25	25	25	25	25	24	23	24
Punto 12. Siquirres - Limón	Atlántico	25	25	26	26	27	27	26	26	27	26	26	25	26
Punto 13. Bribri - Sixaola	Atlántico	25	25	26	26	27	26	26	26	27	27	26	26	26
Punto 14. Manolos - La Garita	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 15. La Garita - Bajo Garita	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 16. Bajo Garita - Atenas	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 17. Cacao_Poas	Valle Central	16	16	17	18	19	19	19	19	19	18	18	17	18
Punto 18. Tacares_Grecia	Valle Central	16	16	17	18	19	19	19	19	19	18	18	17	18
Punto 19. Alajuela_SanAntonio	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 20. SanRafael_SnAnt.	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 21. Alajuela_Itiquis	Valle Central	16	16	17	18	19	19	19	19	19	18	18	17	18
Punto 22. Itiquis_Sansidro	Valle Central	16	16	17	18	19	19	19	19	19	18	18	17	18
Punto 23. SnMiguel_Naran.	Valle Central	16	16	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17	17
Punto 24. SnRamon_Punt.	Valle Central	16	16	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17	17
Punto 25. FlorencioCastillo	Valle Central	18	18	19	20	20	20	20	20	20	20	19	18	19
Punto 26. ProsperoFernandez	Valle Central	20	21	21	22	21	21	21	21	21	20	20	20	21
Punto 27. Nicoya_StaCruz	Guanacaste	27	28	29	29	28	27	27	27	27	26	26	26	27
Punto 28. Liberia_LaCruz	Guanacaste	26	25	28	28	27	26	26	26	25	25	25	25	26
Punto 29. Arizona_Limonal	Guanacaste	27	27	28	28	27	26	27	26	26	26	26	26	27
Punto 30. LaCarcel_Caldera	Pacífico Central	28	28	29	29	29	28	28	28	28	27	27	27	28
Punto 31. Espar_SnRamón	Pacífico Central	26	28	28	28	27	26	26	26	26	26	26	26	27
Punto 32. Caldera_Orotina	Pacífico Central	27	28	27	28	26	25	25	25	25	24	24	23	25

2. *Determinar el factor de corrección por temperatura:* Utilizando el valor de la temperatura promedio de la capa calculado anteriormente, se determina el factor de corrección por temperatura, para ello se utiliza la Figura 2, conforme a lo establecido en el método de la AASHTO 1993.

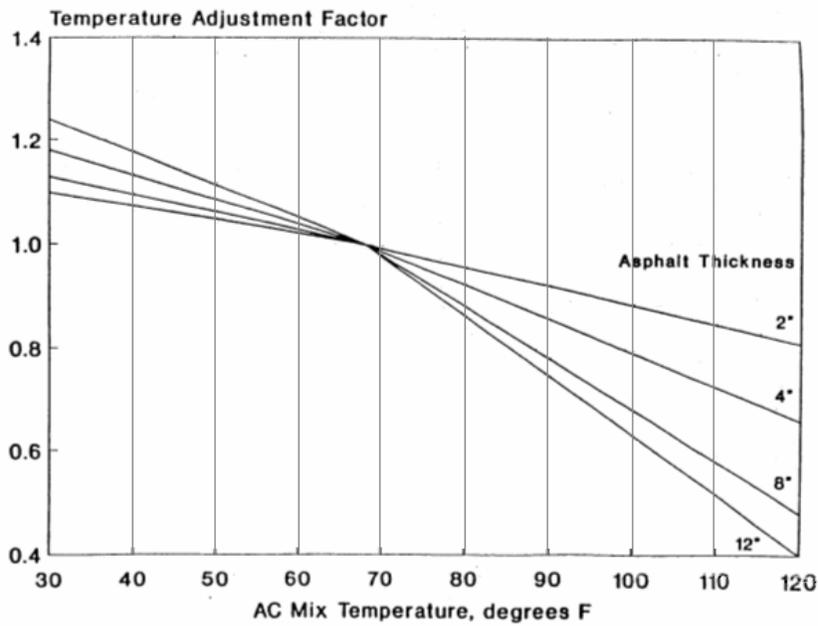


Figura 2: Factor de corrección por temperatura en función del espesor de la capa asfáltica, de acuerdo con el AASHTO 1993.

Finalmente, la deflexión máxima corregida de la deflectometría de impacto es calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$d_{\max_{20^{\circ}\text{C}}} = d_{\max_{\text{ensayo}}} \cdot F_{\text{aj. temp}}$$

donde:

$d_{\max_{20^{\circ}\text{C}}}$ = deflexión corregida a la temperatura estándar de 20°C

$d_{\max_{\text{ensayo}}}$ = deflexión medida a la temperatura superficial del pavimento en el ensayo

$F_{\text{aj. temp}}$ = Factor de ajuste por temperatura

Es importante mencionar que si se utiliza la figura 1, es posible observar que para las temperaturas típicas de nuestro país, la temperatura en la profundidad del pavimento se va a encontrar aproximadamente entre 20° C y 30° C. Si se toma esto y se utiliza en la figura 2, se podría encontrar que sin importar el grosor de la carpeta, si se tiene una temperatura de 20° C el factor de corrección para las deflexiones es 1.0. Por otro lado, si la temperatura de son 30° C (o mayor) es muy relevante el espesor de la carpeta. En este sentido estructuras de 5cm de espesor experimentarían una reducción del 5% en el valor de sus deflexiones, las de 10 cm un 15%, las de 20 cm un 23% y las de 30cm hasta un 30%. Esto indica que para la temperatura extrema estos serían los valores máximos por variaciones o diferencias de temperatura.

RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Región Climática Caribe (C)

Los puntos clasificados en esta región son los ubicados en Aguas Zarcas-Venecia, Guápiles-Sarapiquí, Siquirres-Guácimo, Siquirres-Limón.

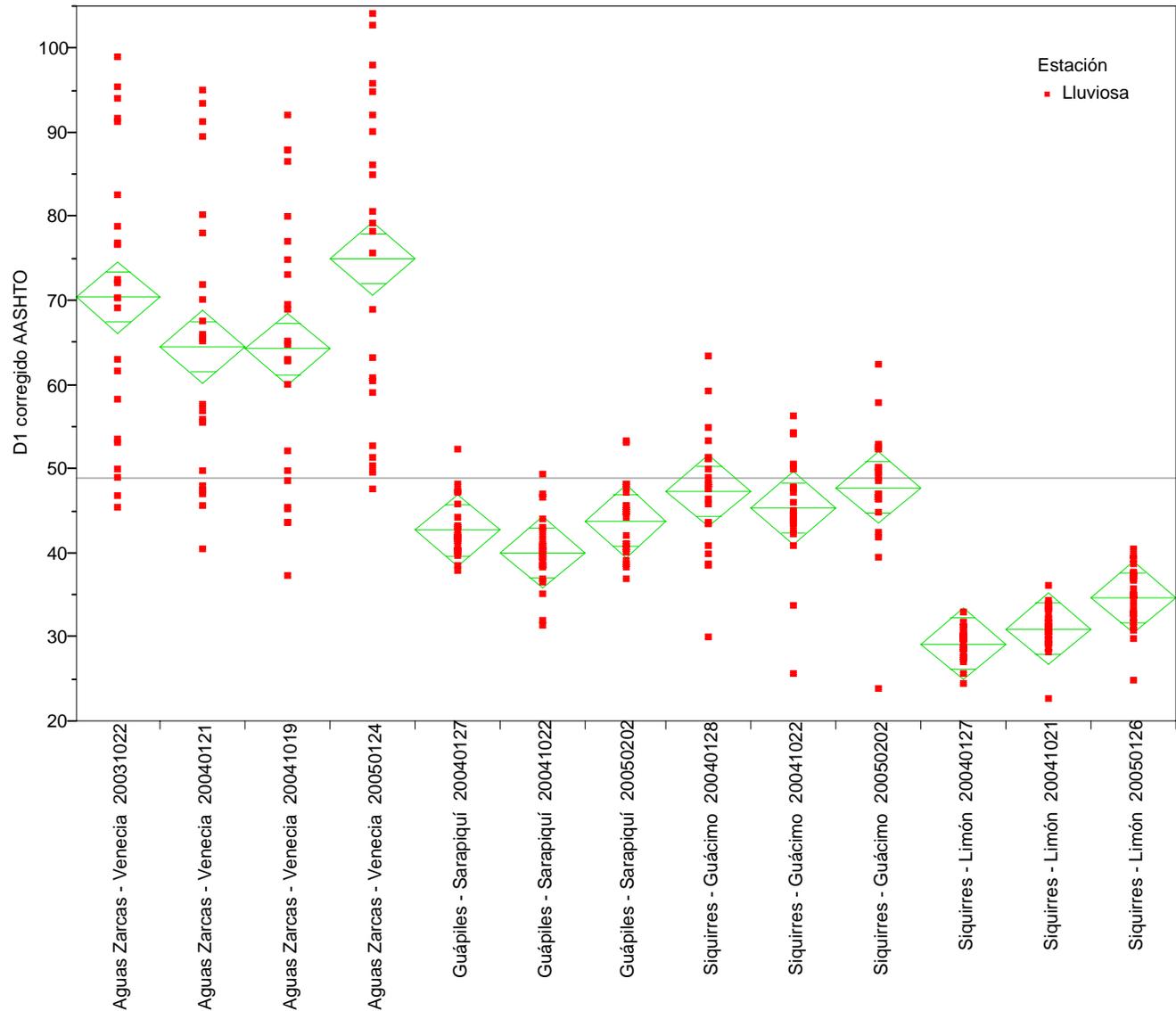


Gráfico 1: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Caribe

La información disponible no permite asociar las diferencias existentes en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, con variación estacional de módulos. Esto debido a que en esta región climática llueve todo el año, por lo tanto las deflexiones fueron

medidas durante la estación lluviosa siempre, a pesar de que se tomaran datos en diferentes meses. Es decir, las diferencias observadas no corresponden a variación estacional por humedad, según lo muestra el **Gráfico 1**, si no que pueden asociarse con el efecto del deterioro que sufre el pavimento durante su vida de servicio.

Es importante recalcar, que la región climática Caribe, presenta condiciones lluviosas durante todo el año, lo cual podría influir en que las deflexiones medidas en diferentes momentos no presenten diferencias significativas.

Región Climática Cordillera de Guanacaste Tilarán (CGT)

El punto clasificado en esta región es el punto 24, San Ramón – Puntarenas.

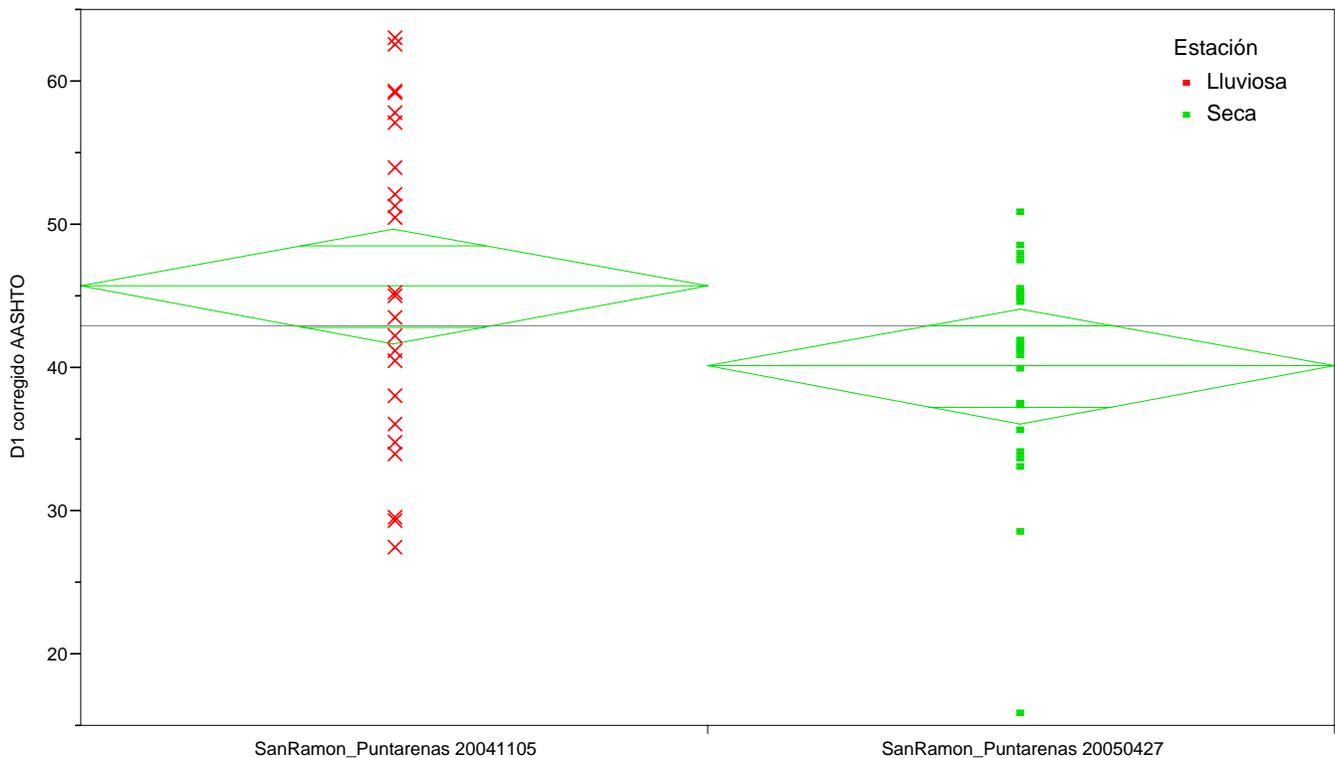


Gráfico 2: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Cordillera de Guanacaste

Existen datos de deflectometría recopilados de manera consecutiva para dos estaciones diferentes: Lluviosa y Seca. No obstante, una carpeta fue colocada durante el tiempo comprendido entre ambas. Según el análisis estadístico realizado, se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los promedios de deflectometría para estas dos estaciones en este punto, a pesar de la colocación de la carpeta.

Región Climática Caribe Sur (CS)

El punto clasificado en esta región es el punto 13, Bribri – Sixaola.

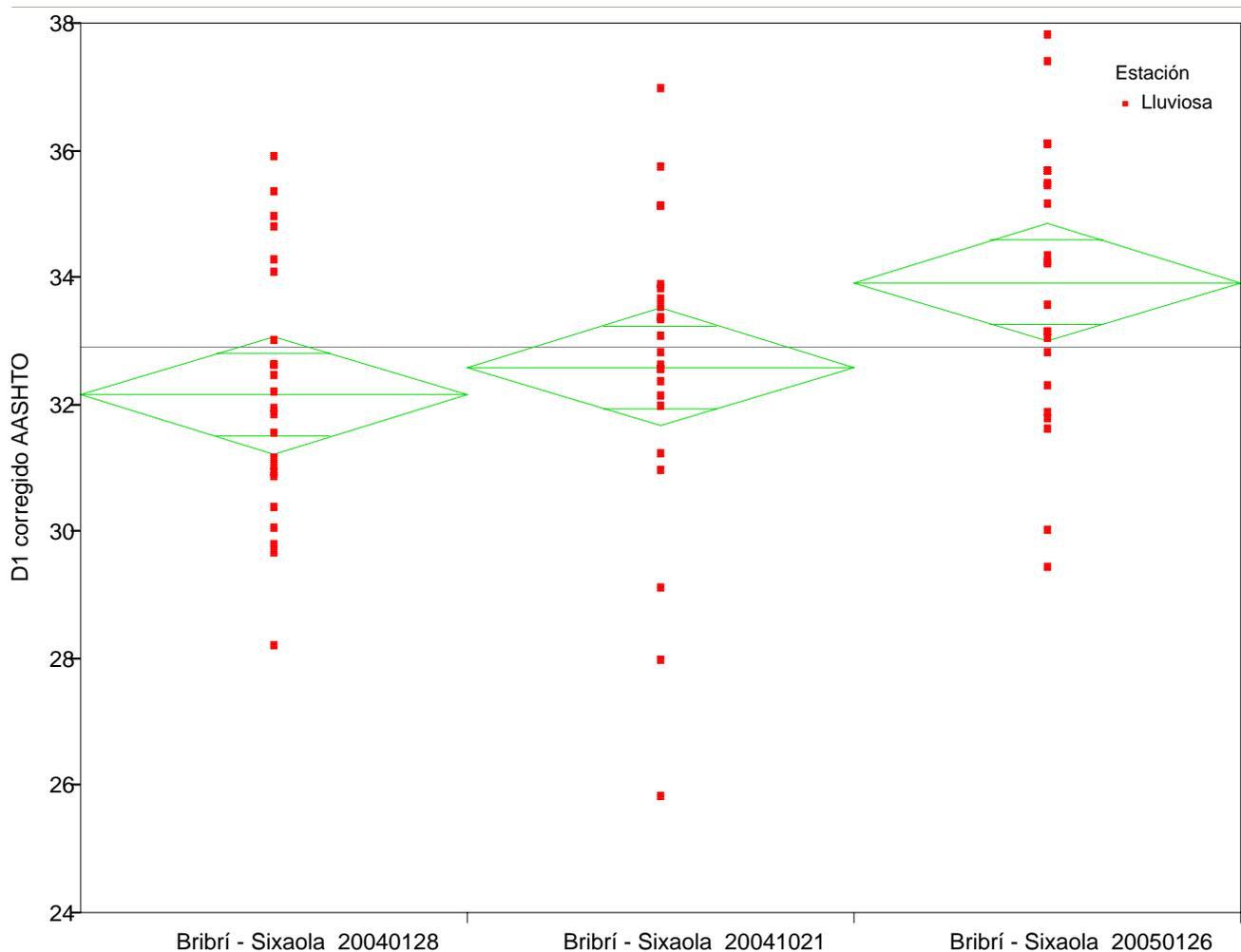


Gráfico 3: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Caribe Sur

La información disponible no permite asociar las diferencias existentes en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, con variación estacional de módulos. Esto debido a que las deflexiones fueron medidas durante la estación lluviosa debido a que en esta región climática llueve 11 meses al año. Es decir, el aumento en las deflexiones, no corresponden a variación estacional por humedad según lo muestra el **Gráfico 3** puede asociarse con el deterioro que sufre el pavimento durante su vida de servicio.

Es importante recalcar, que la región climática Caribe, presenta condiciones lluviosas durante 11 meses en el año. Lo cual puede podría influir en que las deflexiones medidas en diferentes momentos no presenten diferencias significativas.

Región Climática Golfo de Nicoya Llanura Guanacaste (GNG)

Los puntos clasificados en esta región son: Punto 29 Arizona – Limonal , Punto 32 Caldera – Orotina, Punto 31 Esparza – San Ramón, Punto 30 La Cárcel (Puntarenas) – Caldera y Punto 28 Liberia – La Cruz.

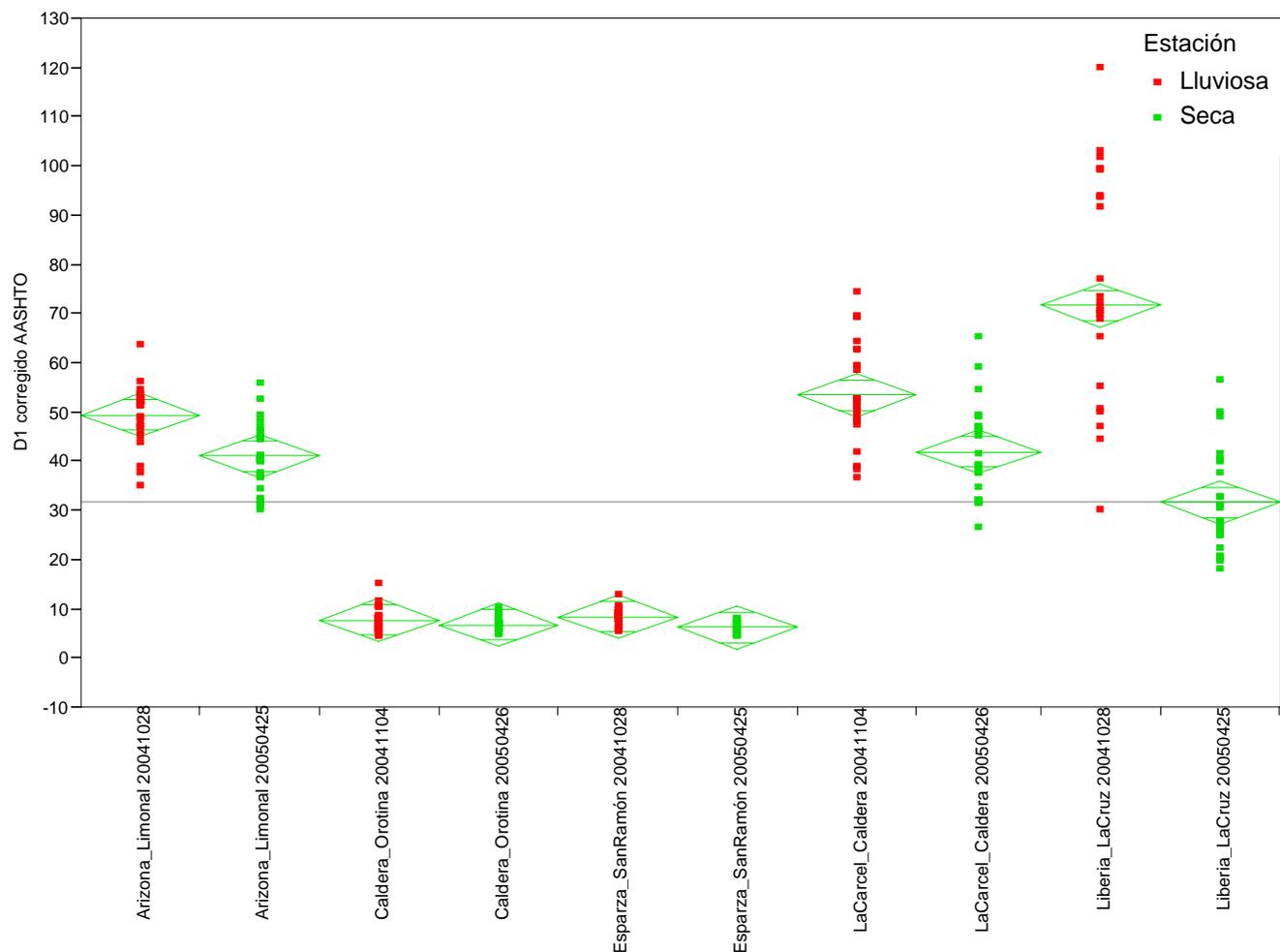


Gráfico 4: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Golfo de Nicoya Llanura de Guanacaste

En los puntos Arizona – Limonal, Liberia – La Cruz y La Cárcel (Puntarenas) – Caldera, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede observar que existe variación significativa en las deflexiones para las diferentes estaciones. Por lo tanto se puede afirmar con un 95% de confianza que los promedios de las deflexiones medidas en la estación Lluviosa y Seca son diferentes.

Para los dos puntos restantes, los datos de deflectometría recopilados de manera consecutiva para dos estaciones diferentes: Lluviosa y Seca, según el análisis estadístico realizado, se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los promedios de deflectometría para estas dos estaciones en ambos puntos, lo cual podría deberse a estructuras del pavimento más robustas, lo cual puede justificar deflexiones bajas y menores diferencias entre deflexiones medidas en diferentes estaciones.

En términos generales, la estación seca y la estación lluviosa se encuentran bien marcadas en esta región.

Región Climática Los Santos (LS)

El punto clasificado en esta región es el punto 5, Taras – La Georgina.

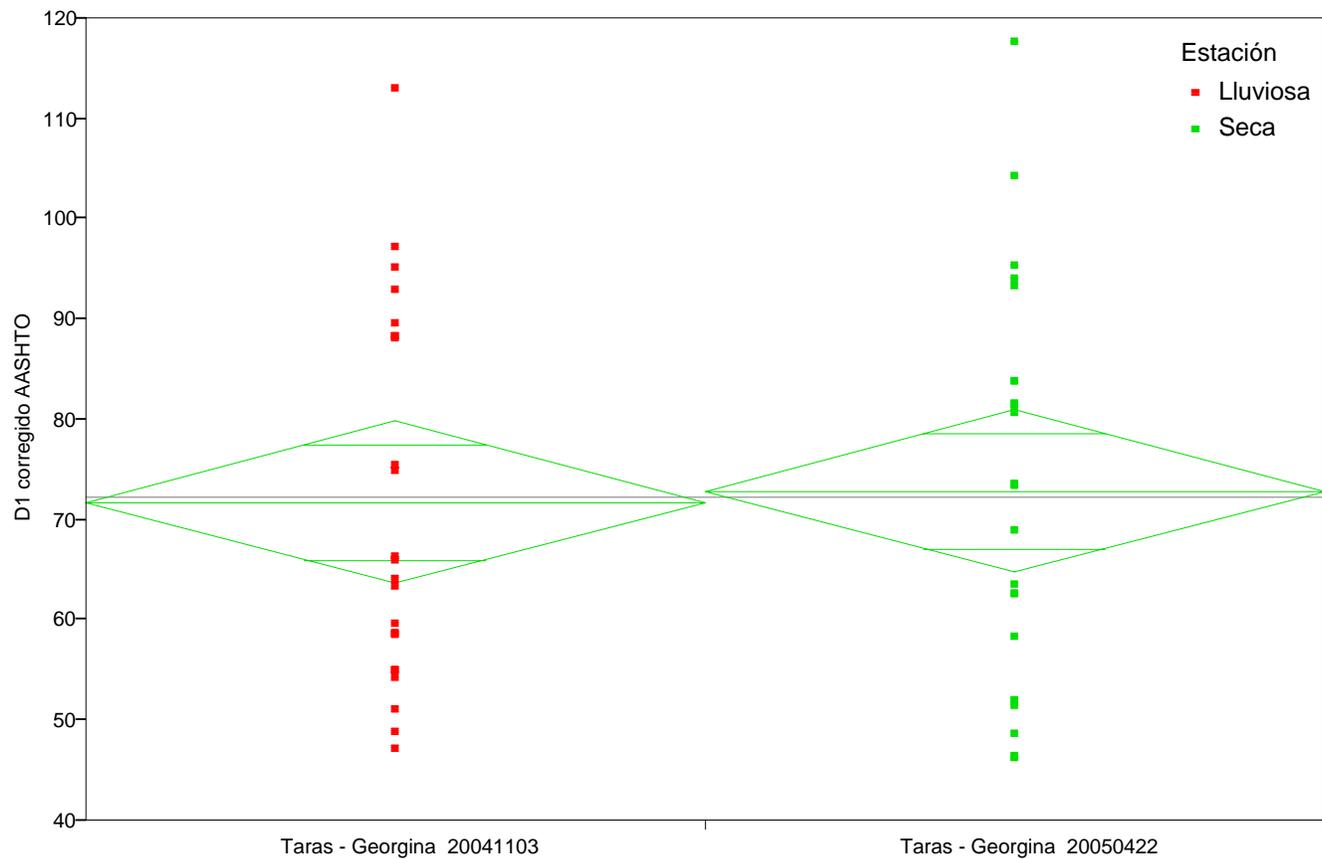


Gráfico 5: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Los Santos

Se cuenta con datos correspondientes a dos estaciones diferentes: Lluviosa y Seca; con mediciones realizadas con diferencias de 6 meses. Según el análisis estadístico realizado, se puede afirmar con un 95% de confianza que los promedios de deflectometría para estas dos estaciones no son diferentes, es decir no se observa una variación estacional de deflectometrías para esta zona.

Región Climática Norte (N)

Los puntos clasificados en esta región son: Punto 1 Monterrey – Jicarito y Punto 3 Tanque – Florencia

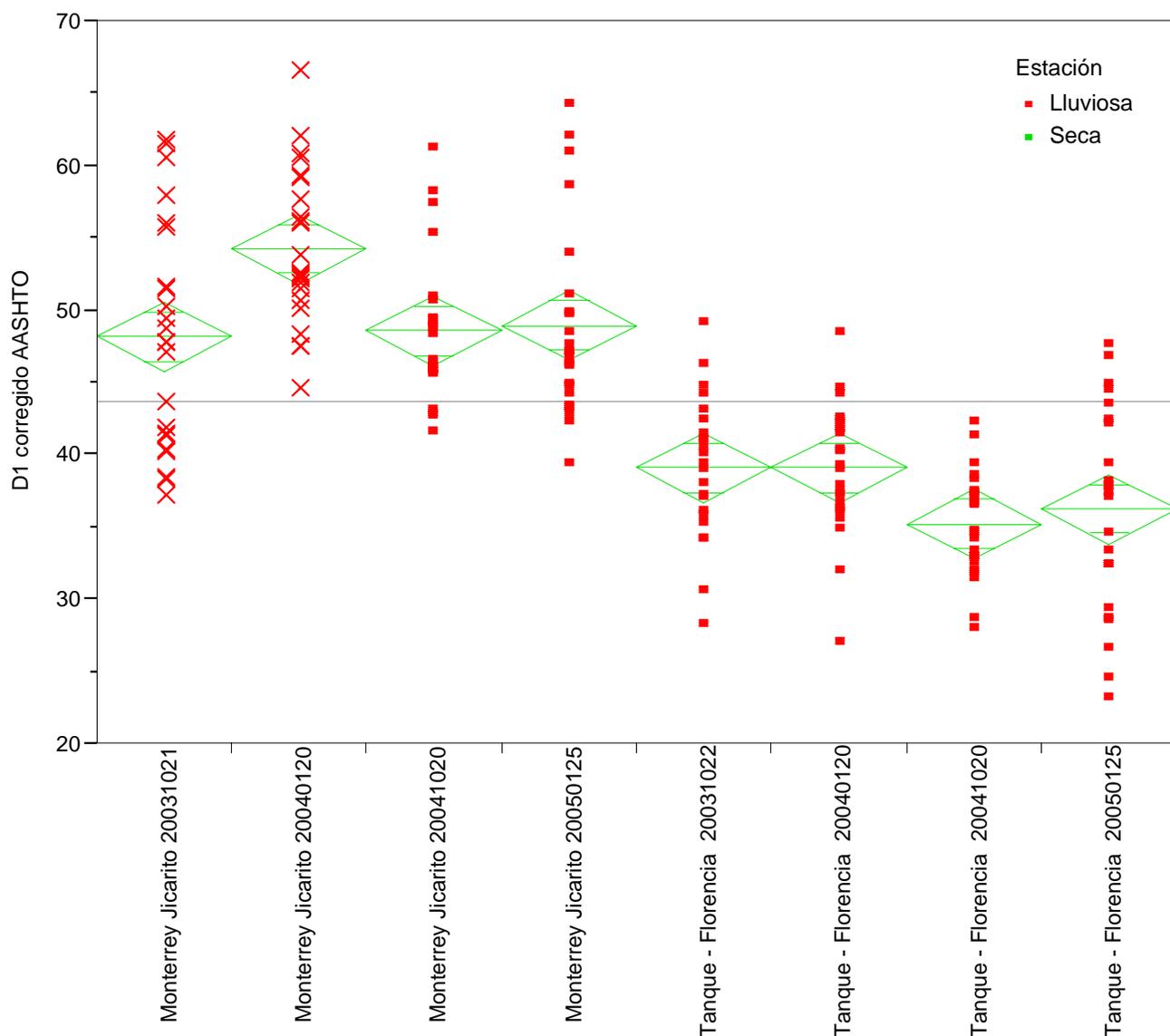


Gráfico 6: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Norte

En el caso del punto 1, entre las dos primeras evaluaciones se puede observar un aumento significativo de las deflexiones en un periodo de 3 meses, lo cual podría estar asociado con el deterioro típico del pavimento ante cargas de servicio. Entre la segunda y tercera evaluación, fue colocada una carpeta asfáltica, lo cual se refleja en una disminución significativa de las deflexiones.

En el punto 1, al igual que sucede en el punto 3, la información disponible no permite asociar las diferencias en las deflexiones con variación estacional de módulos pues a pesar de que se realizaron mediciones en distintos meses, en esta región climática la estación lluviosa se mantiene por 11 meses, por lo tanto las deflexiones fueron medidas durante dicha estación. Es decir, las diferencias que pueden encontrarse, según lo muestra el **Gráfico 6** pueden asociarse con el efecto del deterioro que sufre el pavimento durante su vida de servicio.

Región Climática Pacífico Central (PC)

El punto clasificado es esta región es el punto 6, PZ –Dominical.

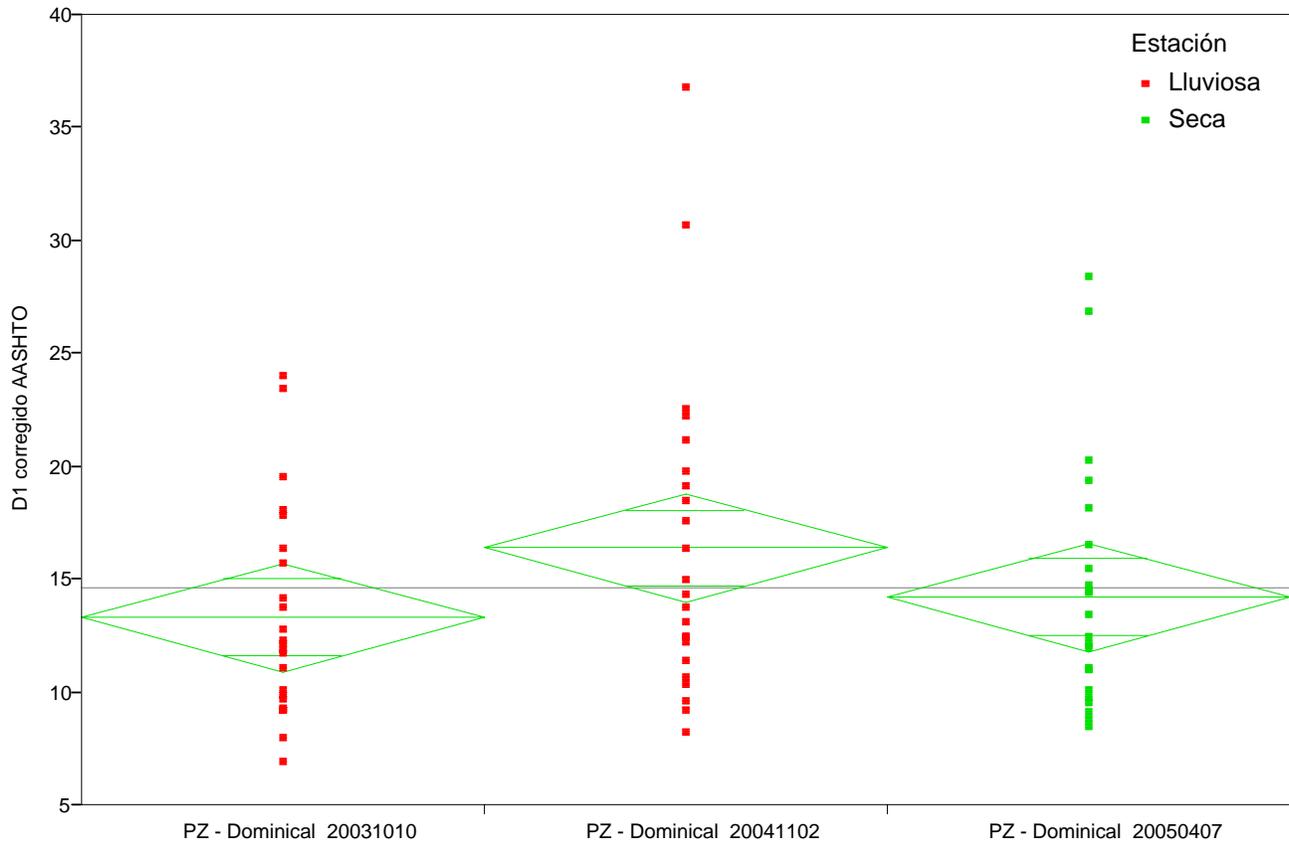


Gráfico 7: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Pacífico Central

Según el análisis estadístico realizado, se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe variación estacional de deflexiones promedio para esta zona.

Es importante observar que la estructura, en términos generales, presenta deflexiones bajas lo cual implica una disminución en la variación de las deflexiones entre estación lluviosa y seca.

Región Climática Península de Nicoya (PN)

El punto clasificado es esta región es el punto 27, Nicoya – Santa Cruz.

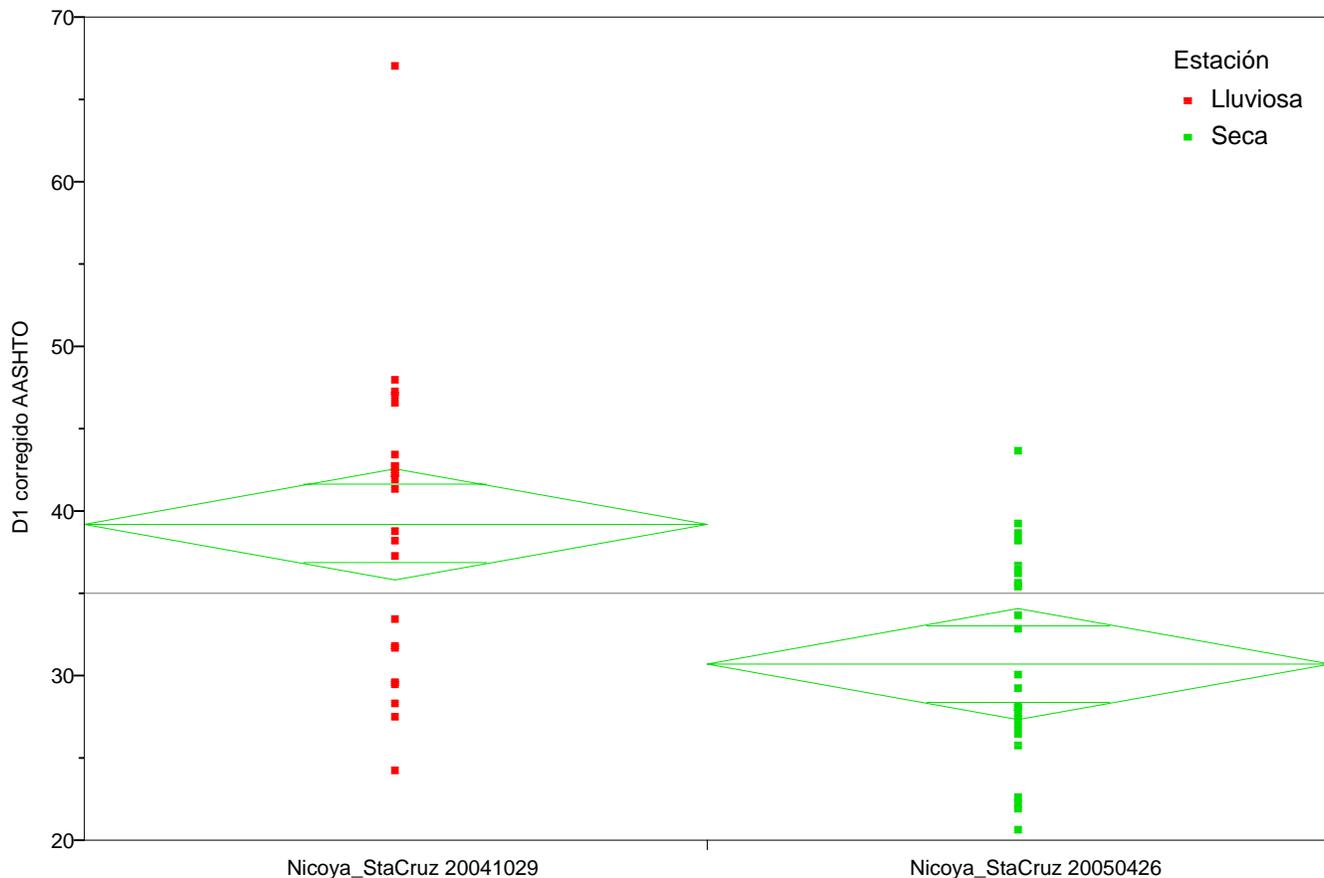


Gráfico 8: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Península de Nioya

Con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar, con un 95% de confianza que los promedios de las deflexiones medidas en la estación Lluviosa y Seca son diferentes, es decir existe variación estacional de deflexiones promedio para esta zona.

Es importante señalar que la estación seca y la estación lluviosa se encuentran bien marcadas en esta región.

Región Climática Upala y Los Chiles (UC)

El punto clasificado es esta región es el punto 4, Ciudad Quesada – Los Chiles.

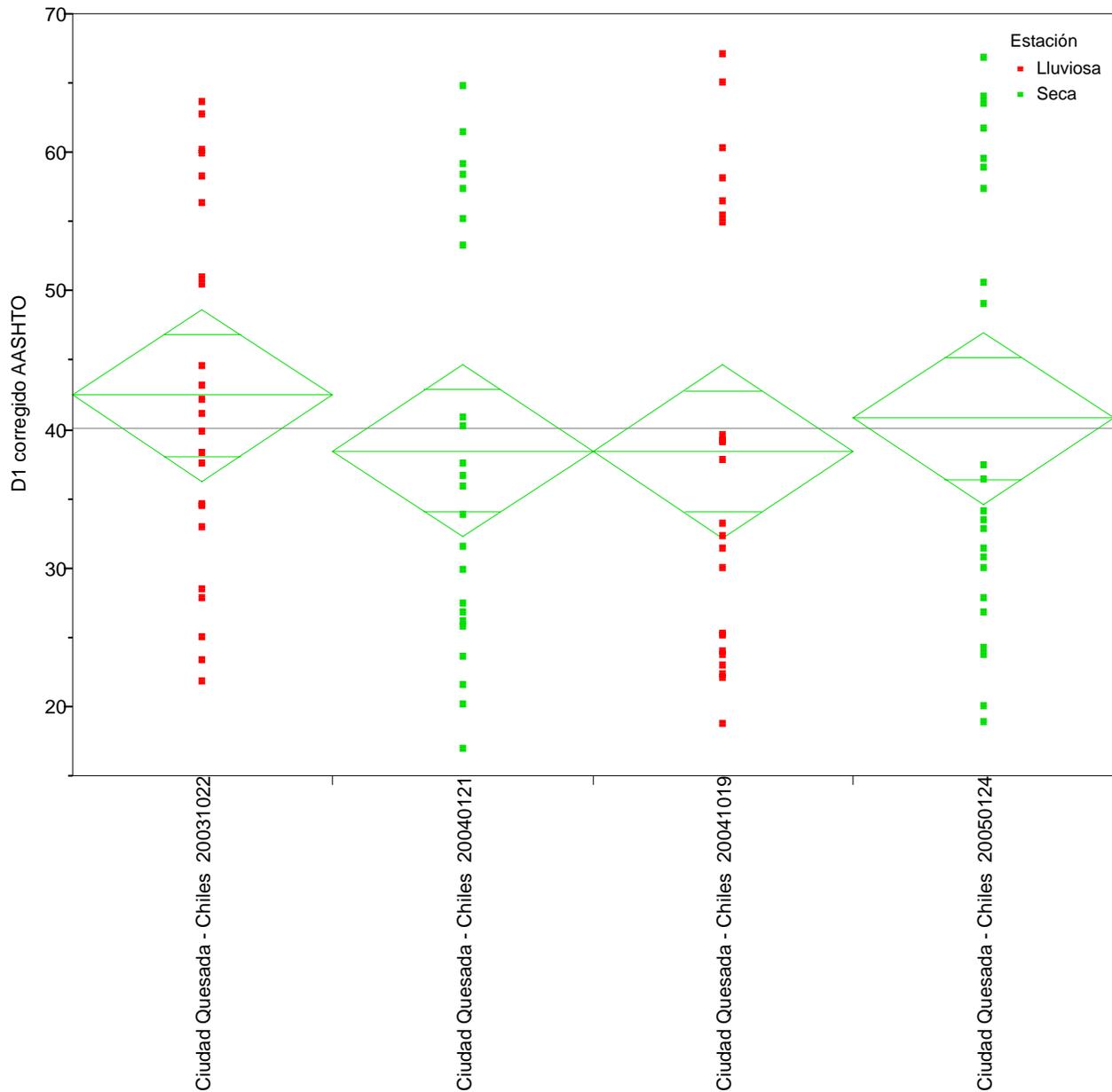


Gráfico 9: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Upala y los Chiles

Con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los promedios de deflectometría para estas estaciones.

Región Climática Valle Central (VC)

Los puntos clasificados en esta región son: Punto 14 Manolos – La Garita, Punto 15 La Garita – Bajo La Garita, Punto 16 Bajo La Garita – Atenas, Punto 17 Cacao – Poás, Punto 18 Tacares – Grecia, Punto 19 Alajuela – San Antonio, Punto 20 San Rafael – San Antonio, Punto 21 Alajuela – Itiquís, Punto 22 Itiquís – San Isidro, Punto 23 San Miguel – Naranjo, Punto 25 Florencio del Castillo y Punto 26 Próspero Fernández.

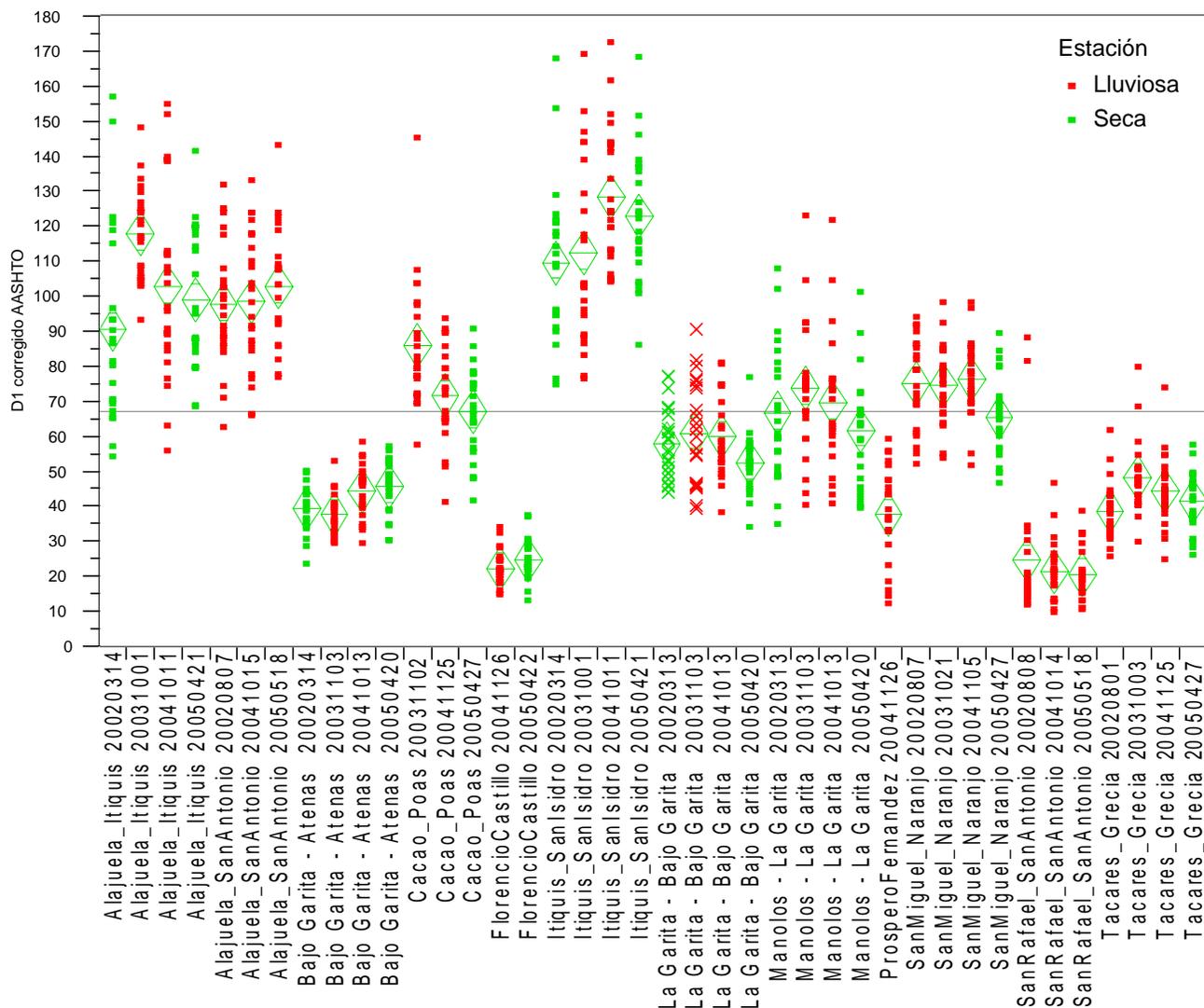


Gráfico 10: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Valle Central

En los puntos de Manolos – La Garita, La Garita – Bajo La Garita, Cacao – Poás, Tacares – Grecia y Bajo La Garita – Atenas, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los

promedios de deflectometría para las estaciones evaluadas. Cabe señalar que en el caso del punto 15, La Garita – Bajo La Garita, fue colocada una sobrecarpeta que produjo una ligera disminución en el promedio de la deflexión.

En el punto Alajuela – San Antonio, existe un ligero aumento en el valor promedio de las deflexiones que podría estar asociado con el deterioro del pavimento; sin embargo dicha variación no es significativa para las evaluaciones realizadas en la misma estación (Lluviosa) para diferentes años.

En el punto San Rafael – San Antonio, existe una ligera reducción en el valor promedio de las deflexiones, sin embargo dicha variación no es significativa para las evaluaciones realizadas en la misma estación (Lluviosa) para diferentes años.

En el punto Alajuela – Itiquís, la información disponible no permite concluir sobre el comportamiento ni variación en el valor promedio de las deflexiones.

En el punto Itiquís – San Isidro, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los promedios de deflectometría medidas entre la estación Seca y la estación Lluviosa. Sin embargo, se puede observar que entre los años 2003 y 2004 aumentó significativamente el valor promedio de las deflexiones, lo cual podría deberse a un deterioro severo y acelerado de la estructura del pavimento, puesto que se evaluó en la misma época y estación para años consecutivos.

En el punto San Miguel – Naranjo, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que los promedios de las deflexiones medidas en la estación Lluviosa y Seca son diferentes, es decir existe variación estacional de las deflexiones. Es importante observar que a pesar de que el punto San Miguel – Naranjo se clasificó en la zona climática Valle Central, sus características son particulares; en este punto las condiciones de lluvia y de temperatura se asemejan más a las típicas para la zona climática Pacífico Central.

En el punto Florencio del Castillo, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los

promedios de las deflexiones medidas en la estación Lluviosa y Seca, es decir no se puede apreciar una variación estacional de las deflexiones. Cabe indicar que existe un ligero aumento de las deflexiones entre las estaciones Lluviosa y Seca, diferencia que no es significativa y podría asociarse con deterioro del pavimento.

En el punto Próspero Fernández, únicamente se cuenta con los datos de una campaña de evaluación por lo cual la información disponible no permite concluir ningún comportamiento ni variación en el valor promedio de las deflexiones.

Región Climática Valle del General (VG)

Los puntos clasificados en esta región son: Punto 7 Juntas del Pacuar – Pérez Zeledón, Punto 8 Buenos Aires – Pérez Zeledón y Punto 9 Puerto Cortés – Palmar Norte.

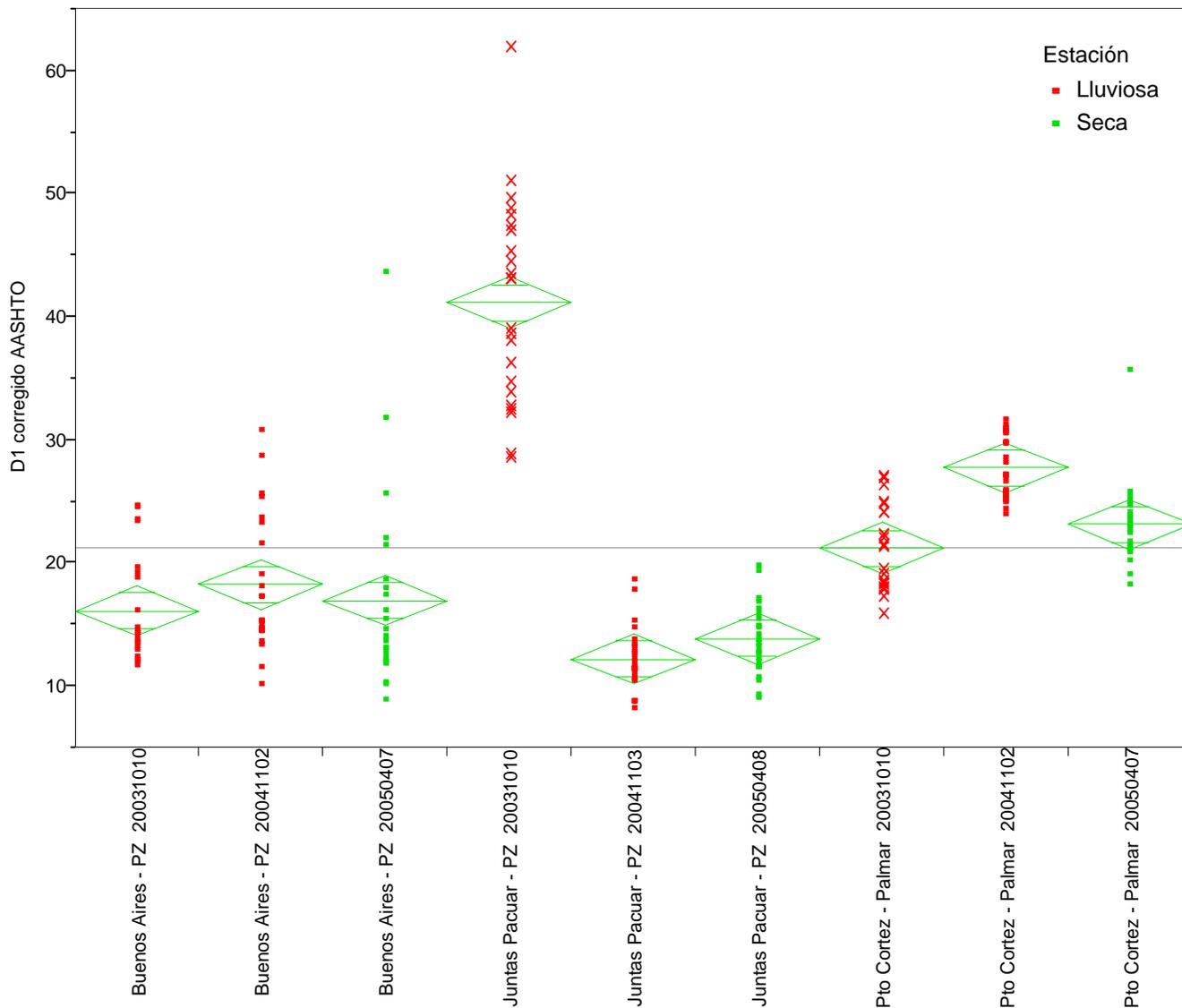


Gráfico 11: Comparación de promedios de las deflexiones medida en la región climática Valle del General

En el punto Buenos Aires – Pérez Zeledón y en el punto Juntas de Pacuar – Pérez Zeledón, con base en la evidencia estadística y el análisis estadístico se puede afirmar con un 95% de confianza que no existe diferencia en los promedios de deflectometría para las estaciones Lluviosa y Seca, es decir no existe variación estacional de las deflexiones.

Debe notarse que para el punto Juntas de Pacuar – Pérez Zeledón, entre la primera campaña de evaluación realizada en el 2003 y la segunda evaluación realizada en el 2004, se observa una reducción significativa en las deflexiones, lo cual se debe a que en este periodo se colocó una sobrecarpeta.

En el punto Puerto Cortés – Palmar Norte, debe notarse que entre la primera campaña de evaluación realizada en el 2003 y la segunda evaluación realizada en el 2004, fue colocada una sobrecarpeta, a pesar de ello se presentó un aumento significativo en las deflexiones. Posteriormente, entre esta segunda campaña de evaluación y la tercera campaña de evaluación realizada en el 2005, se nota una reducción significativa en el promedio de las deflexiones. De esta forma la evidencia estadística y el análisis estadístico permite afirmar con un 95% de confianza que los promedios de las deflexiones medidas en la estación Lluviosa y Seca son diferentes, es decir para este punto si existe variación estacional de deflexiones.

CONCLUSIONES

- El valor del módulo de la mezcla asfáltica disminuye cuando aumenta la temperatura, por esta razón, para poder realizar comparaciones, entre deflexiones medidas a diferentes temperaturas, resultó imprescindible estandarizar los datos a una misma temperatura.
- Las estructuras muy robustas poseen poca variación entre los distintos períodos de medición, esto se debe a que las deflexiones promedio son muy bajas así como las diferencias entre estas. Es decir, cuando se tienen deflexiones muy bajas (menores a 20 mm^{-2}) no parece existir influencia de la humedad, sea o no una zona con cambios bruscos en la estación lluviosa o seca.
- Por el contrario en las zonas con estación lluviosa o seca bien diferenciada se puede encontrar variación estacional en las deflexiones cuando las estructuras no son robustas y presentan deflexiones superiores a los 20 mm^{-2}
- Se logró comprobar que los puntos ubicados en las zonas climáticas: Caribe, Caribe Sur y Norte no presentan variaciones significativas en las deflexiones. Esto se puede atribuir a que en estas zonas climáticas se presentan 11 ó 12 meses de estación lluviosa por lo tanto no existen variaciones importantes en la humedad. Caso contrario ocurre en las regiones: Golfo de Nicoya – Llanura de Guanacaste, Cordillera Guanacaste – Tilarán y Península de Nicoya donde existe una diferencia bien marcada entre la estación seca y lluviosa.
- Los hallazgos realizados en esta investigación, pueden ser aplicados a estructuras de pavimentos similares ubicadas en la misma región climática.
- Como se discutió previamente en el apartado de análisis de resultados, en algunos casos no fue posible atribuir las diferencias en las deflexiones a la variación estacional, ya que ciertos cambios en los promedios de las deflexiones, pueden estar asociadas al deterioro del pavimento o a trabajos de mantenimiento y/o reconstrucción.

En la Tabla 4 se resumen las conclusiones más importantes obtenidas en el presente estudio.

Tabla 4 Conclusiones sobre la variación estacional de las deflexiones para los diferentes puntos y zonas.

Región Climática	Símbolo	Puntos Clasificados	Observación acerca de variación en las deflexiones
Caribe	C	Punto 2 Aguas Zarcas-Venecia Punto 10 Guápiles-Sarapiquí Punto 11 Siquirres-Guácimo Punto 12 Siquirres-Limón	La información disponible <u>no es suficiente</u> para encontrar variaciones en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Cordillera Guanacaste - Tilarán	CGT	Punto 24 San Ramón – Puntarenas	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Caribe Sur	CS	Punto 13 Bribri – Sixaola	La información disponible <u>no es suficiente</u> para encontrar variaciones en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Golfo Nicoya Llanura Guanacaste	GNG	Punto 28 Liberia – La Cruz Punto 29 Arizona – Limonal Punto 30 La Cárcel (Puntarenas) – Caldera	La información disponible indica que <u>si existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
		Punto 32 Caldera – Orotina Punto 31 Esparza – San Ramón	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Los Santos - Caribe Alta	LS	Punto 5 Taras – La Georgina	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Norte	N	Punto 1 Monterrey - Jicarito Punto 3 Tanque - Florencia	La información disponible <u>no es suficiente</u> para encontrar variaciones en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Pacífico Central	PC	Punto 6, Pérez Zeledón –Dominical	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Península de Nicoya	PN	Punto 27 Nicoya – Santa Cruz	La información disponible indica que <u>si existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Upala y Los Chiles	UC	Punto 4 Ciudad Quesada – Los Chiles	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Valle del General	VG	Puntos 7 Juntas del Pacuar – Pérez Zeledón Punto 8 Buenos Aires – Pérez Zeledón	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
		Punto 9 Puerto Cortés – Palmar Norte	La información disponible indica que <u>si existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
Valle Central	VC	Punto 14 Manolos – La Garita Punto 15 La Garita – Bajo La Garita Punto 16 Bajo La Garita – Atenas Punto 17 Cacao – Poás Punto 18 Tacares – Grecia Punto 22 Itiquís – San Isidro Punto 25 Florencio del Castillo	La información disponible indica que <u>no existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
		Punto 23 San Miguel – Naranjo	La información disponible indica que <u>si existen variaciones</u> en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional
		Punto 19 Alajuela – San Antonio Punto 20 San Rafael – San Antonio Punto 21 Alajuela – Itiquís Punto 26 Próspero Fernández	La información disponible <u>no es suficiente</u> para encontrar variaciones en los resultados de la respuesta estructural medida en el sensor D1, asociados con variación estacional

RECOMENDACIONES

- En las zonas climáticas: Caribe Alta, Norte Alta, Pacífico Sur, Talamanca y Volcánica Central Pacífica no existen puntos de evaluados por lo tanto se recomienda incluir algunos para analizar el comportamiento de las deflexiones en estas zonas a lo largo del año.
- Es necesario, que los puntos que vayan a ser sujetos de estudio, cuenten con información lo más completa posible sobre sus características básicas (temperatura, precipitación, estructura –espesor y materiales-, tránsito)
- Es importante que se dé un seguimiento sistemático a cada punto de evaluación, de manera que se monitoreen periódicamente las deflexiones, así como cualquier cambio que pueda influir en la respuesta estructural del pavimento.
- Para un futuro estudio sería recomendable realizar un análisis que permita correlacionar las estructuras –espesor y materiales- con la variación de las deflexiones, bajo las diferentes condiciones de temperatura y humedad que se presenten.
- Es conveniente incluir en estudios posteriores, retrocálculos de módulos que permitan concluir (según la estación climática del año) cómo varían los módulos de los distintos materiales dentro de la estructura del pavimento.