

Precipitación: Fenómeno complejo

La precipitación atmosférica es un fenómeno natural cuya ocurrencia varía notablemente tanto en su distribución espacial como temporal. En su distribución **temporal**, la lluvia ocurre en ciclos anuales que podemos observar, por ejemplo, en Querétaro se considera temporada de lluvias el periodo de mayo a octubre de cada año (ver ilustración 1).

DISTRIBUCION MENSUAL DE LA PRECIPITACION

PROMEDIOS MENSUALES EN EL PERIODO 1961-1997

EL 87% OCURRE DE
MAYO A OCTUBRE

EL MES DE MENOR
PRECIPITACION ES
FEBRERO 7.7 mm

EL MES DE MAYOR
PRECIPITACION ES
JULIO 118 mm

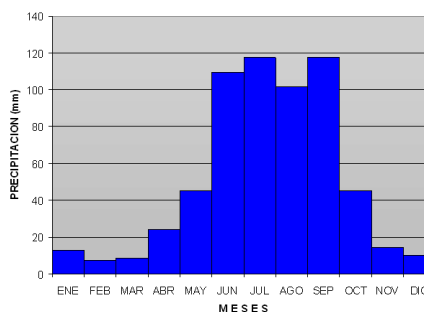
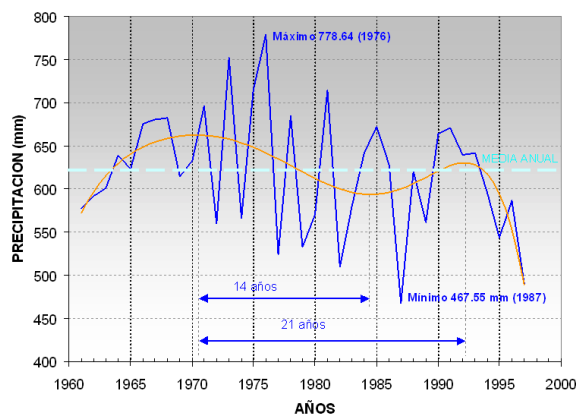


Ilustración 1 – Distribución temporal anual de la precipitación en Querétaro (SEDEA- 1998)

También se pueden apreciar años húmedos y secos, en ciclos multi-anuales. La ocurrencia de estos ciclos puede observarse en la ilustración 2.

DISTRIBUCION ANUAL DE LA PRECIPITACION



Mínimo 468 mm (1987)

Ciclo 21 años



Máximo 779 mm (1976)

Máximo a mínimo 14 años

Ilustración 2 – Distribución temporal multianual (ciclos) de lluvia (SEDEA, 1998)

En su distribución **espacial**, se puede observar que llueve más en zonas boscosas que en zonas semidesérticas, para el estado de Querétaro un ejemplo notable es

comparar la parte sur del estado (el municipio de Amealco), como zona más lluviosa con la parte central (el municipio de Cadereyta), como zona más seca. La ilustración 3 muestra esa distribución para el estado de Querétaro.

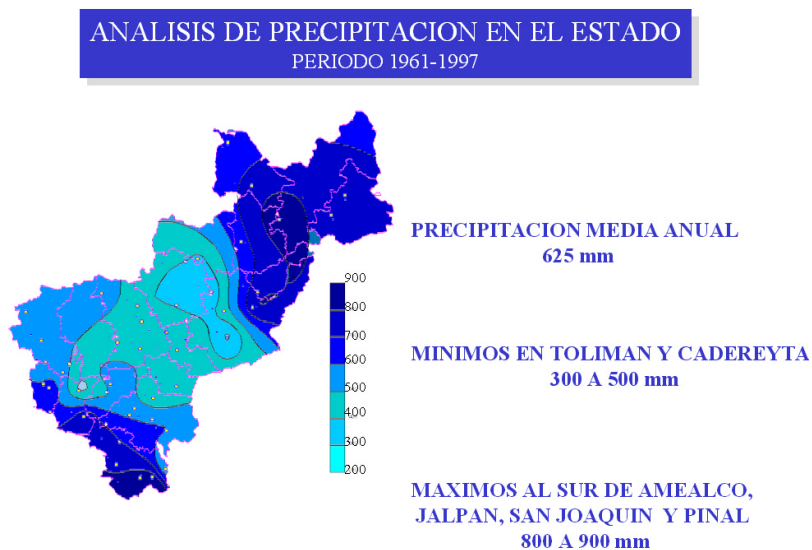


Ilustración 3 – Distribución espacial de la precipitación (SEDEA, 1998)

Metodología

Por lo anterior, el representar la precipitación en el Estado a un solo indicador oculta esa variabilidad espacial y temporal. Esta aseveración es aún más certera en el caso de la **agricultura**, que utiliza como un insumo vital la lluvia.

El estudio de la lluvia reviste entonces gran importancia. La obtención de datos sobre cuándo y cuánto llueve se obtiene con **estaciones meteorológicas**. Las estaciones cuentan con pluviómetros, y registran valores de lluvia diaria puntuales, es decir, la lluvia que ocurre directamente sobre la estación. Varias instituciones en México operan redes de estaciones, entre ellas la Comisión Nacional del Agua (CNA), que registra diariamente la lluvia y distribuye en reportes esta información.

La Secretaría de Desarrollo Agropecuario desarrolló en 1998-1999 (Ing. Jesús M. Ham Chi), una **metodología** para estimar, a partir de los reportes diarios meteorológicos de la CNA, valores agregados a niveles municipales, de regiones agropecuarias y del estado. Este documento describe dicha metodología.

Primer paso: superficies de influencia espacial de las estaciones

El primer paso fue calcular factores para representar las superficies de influencia espacial para cada una de las 12 estaciones meteorológicas que CNA reporta a diario en el estado de Querétaro. El método usado fue el de **polígonos de Thiessen**.

Los polígonos de Thiessen son creados dibujando rectas entre pares de estaciones. Sobre estas líneas rectas se generan bisectrices (rectas en el punto medio de las rectas originales, en ángulo recto). Uniendo las bisectrices se obtienen los polígonos de Thiessen. Se conformó un archivo de AutoCAD donde se establecieron dichas superficies de influencia (ver ilustración 4).



Ilustración 4 – Polígonos de Thiessen para las estaciones meteorológicas. Las superficies de influencia para cada estación se marcan en color azul.

Paso 2: Obtención de factores para cada municipio

Se calculó una matriz cuyos renglones son municipios y cuyas columnas son estaciones, dividiendo cada superficie municipal en las porciones que resultan de los polígonos de Thiessen de cada estación. De esta manera se describe el área de influencia por estación en cada municipio (Ver tabla 1). Por ejemplo, el municipio de Amealco (ver ilustración 4), está dividido entre las superficies de influencia de las estaciones Amealco (~60%), San Ildefonso (~30%) y Constitución de 1917 (~10%), lo que se representa en la tabla 1 en el primer renglón.



MUNICIPIO	BATAN	OBSERVATORIO	PUEBLITO	JURIQUILLA	CARRILLO	PLANTEL 7	PEÑAMILLER	AMEALCO	JALPAN	SAN ILDEFONSO	CONSTITUCION	SUMATORIA
AMEALCO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.1	1.0
PINAL DE AMOLES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.0	0.0	1.0
ARROYO SECO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
CADEREYTA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.1	0.0	0.1	1.0
COLON	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0
CORREGIDORA	0.5	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
EZEQUIEL MONTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0
HUIMILPAN	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.0
JALPAN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
LANDA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
EL MARQUES	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
PEDRO ESCOBEDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0
PEÑAMILLER	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
QUERETARO	0.0	0.1	0.0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
SAN JOAQUIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	1.0
SAN JUAN DEL RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0
TEQUISQUIAPAN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
TOLIMAN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
ESTADO	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0

Tabla 1 – Factores por estación para cada municipio

Paso 3: Aplicación de factores a los valores por estación

Estos factores se aplican a los valores diarios de precipitación por estación, obteniéndose de esta manera una estimación de la ocurrencia de lluvia en cada municipio, como se ilustra en la siguiente fórmula

$$PM_{x,t} = \sum_{j=1}^{11} PE_{j,t} \cdot F_{x,j}$$

Donde

PM=Precipitación Municipal (mm)

PE= Precipitación de la Estación (mm)

F= Factor que relaciona municipios y estaciones (ver tabla 1)

j = *j*-ésima estación

x = *x*-ésimo municipio

t = día del cálculo

Para el municipio de Amealco, la precipitación acumulada al 21 de abril de 2002 se calcula aplicando la fórmula anterior. Por claridad se muestra el cálculo en una matriz:

<i>Estación</i>	<i>PE</i>	<i>F</i>	<i>PE•F</i>
<i>EL BATAN</i>	59.1000	0.0000	0.0000
<i>OBSERVATORIO</i>	48.6000	0.0000	0.0000
<i>EL PUEBLITO</i>	41.5000	0.0000	0.0000
<i>JURIQUILLA</i>	57.5000	0.0000	0.0000
<i>CARRILLO</i>	85.6000	0.0000	0.0000
<i>PLANTEL 7</i>	46.4000	0.0000	0.0000
<i>PEÑAMILLER</i>	48.7000	0.0000	0.0000
<i>AMEALCO</i>	49.3248	0.6497	32.0462
<i>JALPAN</i>	32.2000	0.0000	0.0000
<i>SAN ILDEFONSO</i>	50.9000	0.2869	14.6007
<i>P. CONSTITUCION 1917</i>	77.7000	0.0635	4.9301
<i>Precipitación Municipal (acumulada) en Amealco al 21 de abril de 2002</i>			<i>51.5771 mm</i>

El cálculo de la precipitación a nivel estatal se lleva a cabo de manera análoga, con los factores que se presentan en el último renglón de la tabla 1.

Paso 4: Cálculo de factores regionales

El estado de Querétaro se encuentra dividido en regiones agropecuarias, que corresponden a Distritos de Desarrollo Rural. Estas regiones se forman de municipios completos.

Se integró una tabla con la descripción de regiones agropecuarias y sus municipios integrantes, con el propósito de describir el peso de cada municipio dentro de su región (ver tabla 2)

No.	REGION/MUNICIPIO	SUPERFICIE (Km2)	
		MUNICIPIO	%REGION
<i>Zona 1 Jalpan</i>		<i>3,290.20 (Km2)</i>	
9	JALPAN	1,121.00	0.34070877
10	LANDA DE MATAMOROS	840.1	0.25533402
2	PINAL DE AMOLES	611.9	0.18597654
3	ARROYO SECO	717.2	0.21798067
<i>Zona 2 Cadereyta</i>		<i>4,193.00 (Km2)</i>	
4	CADEREYTA	1,131.00	0.26973527
5	COLON	764.9	0.18242309
7	E. MONTES	278.4	0.06639637
13	PEÑAMILLER	795	0.18960172
15	SAN JOAQUIN	499	0.11900787
18	TOLIMAN	724.7	0.17283568
<i>Zona 3 San Juan del Río</i>		<i>2,096.50 (Km2)</i>	
16	SAN JUAN DEL RIO	779.9	0.37200095
17	TEQUISQUIAPAN	343.6	0.1638922
12	PEDRO ESCOBEDO	290.9	0.13875507
1	AMEALCO	682.1	0.32535178
<i>Zona 4 Querétaro</i>		<i>2,189.30 (Km2)</i>	
14	QUERETARO	759.9	0.34709725
11	EL MARQUES	787.4	0.35965834
6	VILLA CORREGIDORA	245.8	0.11227333
8	HUMILPAN	396.2	0.18097109
	ESTATAL	11,769.00	

Tabla 2 – Factores regionales

Se agregan los valores municipales, multiplicados por factores regionales, para obtener estimadores de precipitación acumulada por región agropecuaria, como se muestra en la fórmula inferior:

$$PR_{n,t} = \sum_{x=1}^{18} PM_{x,t} \cdot FR_{x,n}$$

Donde

PM = Precipitación Municipal (mm)

PR = Precipitación de la Región (mm)

FR = Factor que relaciona regiones y municipios (ver tabla 2)

n = *n*-ésima región

x = *x*-ésimo municipio

t = día del cálculo

Para la región de Jalpan, la precipitación acumulada al 21 de abril de 2002 se calcula aplicando la fórmula anterior. Por claridad se muestra el cálculo en una matriz:

<i>Municipio¹</i>	<i>PM</i>	<i>FR</i>	<i>PE•FR</i>
<i>PINAL DE AMOLES</i>	<i>34.6689</i>	<i>0.1860</i>	<i>6.4476</i>
<i>ARROYO SECO</i>	<i>32.2000</i>	<i>0.2180</i>	<i>7.0190</i>
<i>JALPAN</i>	<i>32.2000</i>	<i>0.3407</i>	<i>10.9708</i>
<i>LANDA</i>	<i>32.2000</i>	<i>0.2553</i>	<i>8.2218</i>
<i>Precipitación Regional (acumulada) en Jalpan al 21 de abril de 2002</i>			<i>32.6592 mm</i>

Lo anterior se lleva a cabo en una hoja de cálculo donde se lleva el control diario de la precipitación por estaciones en el estado, y mediante las fórmulas que relacionan los factores municipales y regionales, se obtienen valores de lluvias acumuladas por día tanto para el estado como para sus municipios y regiones.

¹ Solamente se toman en cuenta los municipios (y sus valores de precipitación y factores) que integran la región de la que se hace el cálculo.

Paso 5: Estimación de la media y reportes

Con base en el estudio de lluvias anuales en un ciclo de 36 años (1961-1997), se calculó una media mensual típica, que se muestra distribuida diariamente en los reportes de "Evolución y Comparación de la Precipitación" de la SEDEA. Estos reportes se integran por cinco gráficas, una estatal (ver ilustración 5) y cuatro regionales, una por región (ver ilustración 6)

EVOLUCION Y COMPARACION DE LA PRECIPITACION EN EL
ESTADO DE QUERETARO
al 21 de abril de 2002

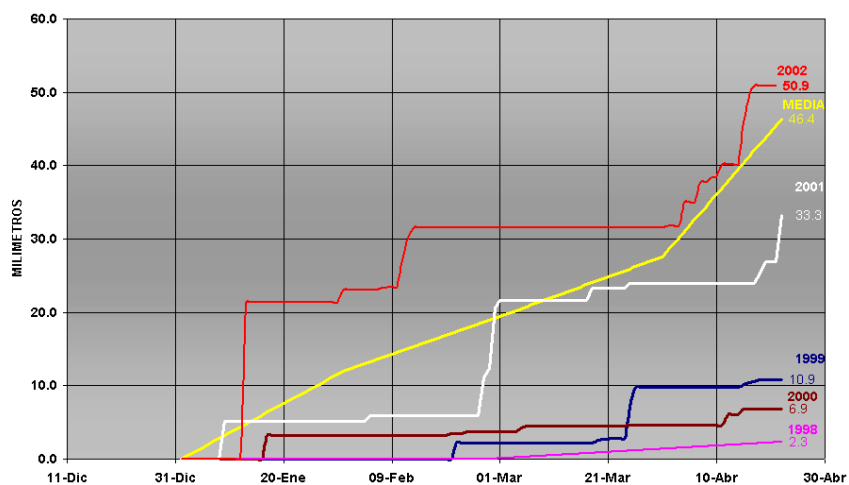


Ilustración 5 – Precipitación acumulada estatal (SEDEA, 2002)

EVOLUCION Y COMPARACION DE LA PRECIPITACION
REGION JALPAN
al 21 de abril de 2002

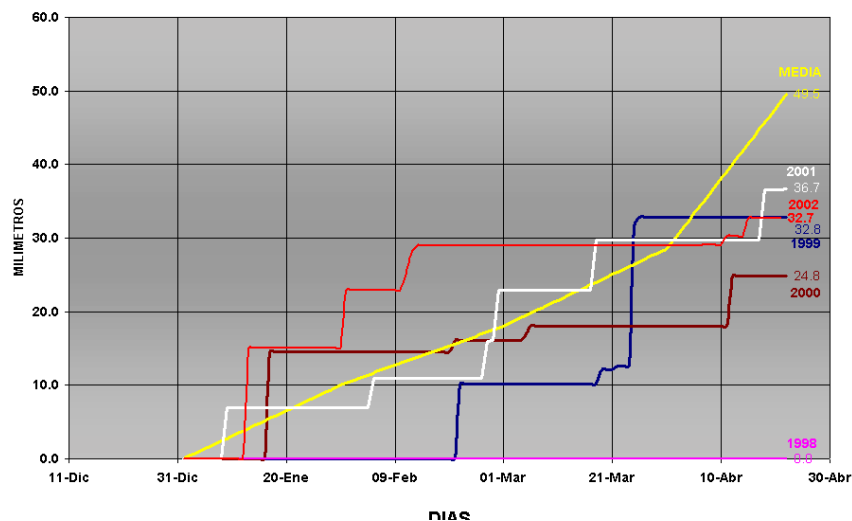


Ilustración 6 – Precipitación acumulada regional (Jalpan) (SEDEA, 2002)

Conclusiones

La metodología de SEDEA posee sólidas bases técnicas para la elaboración de las precipitaciones acumuladas estatales y regionales. Es un mecanismo de rápida respuesta, y representa las variaciones tanto temporales como espaciales de la distribución de la lluvia.

Existen, sin embargo, varios **puntos débiles**.

- La deficiente cobertura de estaciones meteorológicas en el estado (ver ilustración 4 y Anexo 1), lo que resulta en que la influencia de cada estación sea desproporcionada para el centro y norte del estado.
- Relacionado con lo anterior, y debido a la naturaleza aleatoria de las lluvias, especialmente a su irregular distribución espacial, deben ocurrir lluvias en el Estado entre los pluviómetros de las estaciones.

Recordemos que para que la estación registre lluvia en el pluviómetro, se requiere que llueva *sobre la estación*. Por tanto, deben ocurrir precipitaciones que no son registradas en las estaciones, por lo que no se reflejan en los cálculos de acumulación de precipitación utilizados en SEDEA y descritos en este documento.

- Esta dependencia en la red de estaciones se complica con el hecho de que SEDEA no opera las estaciones, y depende por tanto de los mecanismos de la CNA para asegurar la calidad y oportunidad de los reportes diarios de su red de estaciones meteorológicas.

De complementarse la red de estaciones meteorológicas, el cálculo debería reformularse, para representar los nuevos factores que representarían la existencia de nuevas estaciones.

Claramente, las precipitaciones acumuladas para el estado de Querétaro, que hayan sido obtenidas mediante diferentes metodologías, periodos de tiempo, y estaciones meteorológicas tomadas en cuenta en el cálculo, son difícilmente comparables con la metodología presentada aquí.

ANEXO 1

A) Densidades recomendadas de estaciones climatológicas

En 1973, Jáuregui (citado por Campos Aranda, 1984) estimó el número de estaciones para una red pluviométrica mínima según las normas de la OMM (Organización Meteorológica Mundial).
El estado de Querétaro es clasificado como Zona II en el cuadro inferior (superficie por estación entre 100 y 250 km²), lo que determina que para que el estado contase con una densidad adecuada de estaciones se **requieren de 46 a 115 estaciones. Actualmente se reportan 12.**

El criterio de la OMM (1970):

Categoría de Regiones	Límites de las normas para una red mínima	Límites de las normas admisibles en circunstancias especialmente difíciles ²
	Superficie en km ² por estación	Superficie en km ² por estación
I Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales	600 – 900	900 – 3,000
II Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales	100 – 250	250 – 1,000 ³
Pequeñas islas montañosas con precipitación muy irregular y red hidrográfica muy densa	25	
III Zonas áridas y polares ⁴	1,500 – 10,000 ⁵	

Interpretación del cuadro:

La superficie por estación recomendada es el valor máximo de superficie. Para Querétaro (Zona II) se recomienda de 100 a 250 km².

- Valores superiores, i.e. una estación que cubriese 3,000 km², restan certidumbre al estudio de las lluvias.
- Valores inferiores (i.e. 70 km²) describen mejor la región de estudio.

² El límite máximo sólo es admisible en circunstancias especialmente difíciles

³ En condiciones de gran dificultad puede ampliarse hasta 2,000 km²

⁴ Sin incluir los grandes desiertos

⁵ Según las posibilidades

B) Sensibilidad del cálculo de lluvia acumulada actual (descrito en este documento) a las estaciones actualmente disponibles:

No.	Nombre de Estación	A Cobertura de acuerdo a los polígonos de Thiessen de las estaciones actuales (Ilustración 4) (km ²)	B Δ	C Criterio OMM para el estado (100-250 km ²)	D Criterio OMM para el estado en circunstancias especialmente difíciles (250-1,000 km ²)
1	BATAN	447.0835		Degrada	Aceptable
2	OBSERVATORIO	164.5218	==	Aceptable	Aceptable
3	PUEBLITO	72.2679	==	Aceptable	Aceptable
4	JURIQUILLA	904.1346		Degrada	Aceptable
5	CARRILLO	97.4253	==	Aceptable	Aceptable
6	PLANTEL 7	832.2622		Degrada	Aceptable
7	PEÑAMILLER	3,067.9838	++	Degrada	Degrada
8	AMEALCO	497.8545		Degrada	Aceptable
9	JALPAN	3,779.4682	++	Degrada	Degrada
10	SAN ILDEFONSO	433.5364		Degrada	Aceptable
11	CONSTITUCIÓN	1,850.4618	++	Degrada	Degrada
	SUMAS	12,147.0000			

1. Para este ejercicio se omiten criterios meteorológicos y de zonas de interés, que podrían dictar una concentración no uniforme de estaciones climatológicas en el estado de Querétaro.
2. (Δ++) Las estaciones 11 (Constitución), 7 (Peñamiller) y 9 (Jalpan) tienen una **cobertura mucho mayor** que el promedio recomendado por la OMM (100-250 km²), lo que **degrada la certidumbre** del conocimiento de las lluvias

La estación 11 (Constitución) cubre de 18.5 a 7.4 veces la cobertura promedio, la estación 7 (Peñamiller) representa de 30.7 a 12.3 veces la cobertura promedio, en tanto que la estación 9 (Jalpan) representa 37.8 a 15.1 veces la cobertura promedio.

En total, estas 3 estaciones cubren el **71.61 %** del estado, teniendo una influencia desproporcionada en sentido negativo en los cálculos de lluvia acumulada regional y estatal.

3. (Δ==) Las estaciones 3 (Pueblito), 5 (Carrillo) y 2 (Observatorio) se encuentran próximas, cubriendo densamente la zona de la capital del estado, con una **cobertura más aproximada al** promedio recomendado por la OMM (100-250 km²).

En conjunto, estas 3 estaciones cubren el **2.75 %** del estado.

4. Una medida rápida de la desigual distribución de las estaciones climatológicas en el estado de Querétaro:

3 estaciones con cobertura
específica mucho mayor al
promedio recomendado por OMM:
71.61% del estado

>>

3 estaciones con cobertura
específica más cercana al
promedio recomendado por OMM:
2.75% del estado