

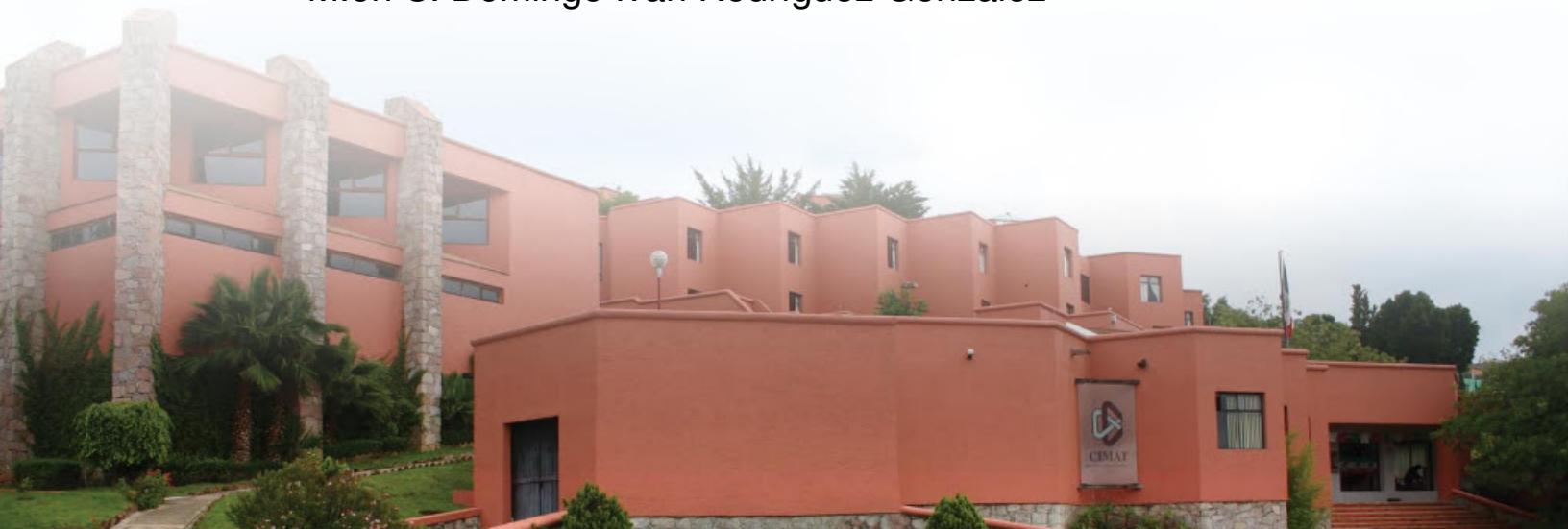
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

Estimaciones de la Tasa de Reproducción Efectiva R_t de COVID-19 para los Estados y Zonas Metropolitanas de México

08 de Septiembre de 2021

Reporte realizado por:

- Dra. Graciela González Farías
- M.en C. Domingo Iván Rodríguez González



CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS, A.C.

08 de Septiembre de 2021

Tabla de Contenidos

1	Estimaciones de R_t en Orden Ascendente	4
1.1	Estimaciones de R_t por Estado en Orden Ascendente	5
1.2	Estimaciones de R_t por Zona Metropolitana en Orden Ascendente	6
2	Estimaciones de R_t por Estado	7
2.1	Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Estado	19
3	Estimaciones de R_t por Zona Metropolitana	20
3.1	Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Zona Metropolitana	30
4	Metodología de Estimación de R_t	31
4.1	Metodología para la Estimación del R_t .	32
4.1.1	Datos de entrada para la estimación	32
4.1.2	Estimación de la tasa de reproducción efectiva R_t	32

1. Estimaciones de R_t en Orden Ascendente

1.1 Estimaciones de R_t por Estado en Orden Ascendente

Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

La figura 1.1 muestra las estimaciones del R_t para los 32 estados de México, ordenados de manera ascendente. Se tomaron los datos de nuevos casos hasta el día 27 de Agosto de 2021. En verde se muestran los estados para los que el R_t estimado es menor a 1. Se incluyen los intervalos de máxima densidad del 50 % y 90 %.

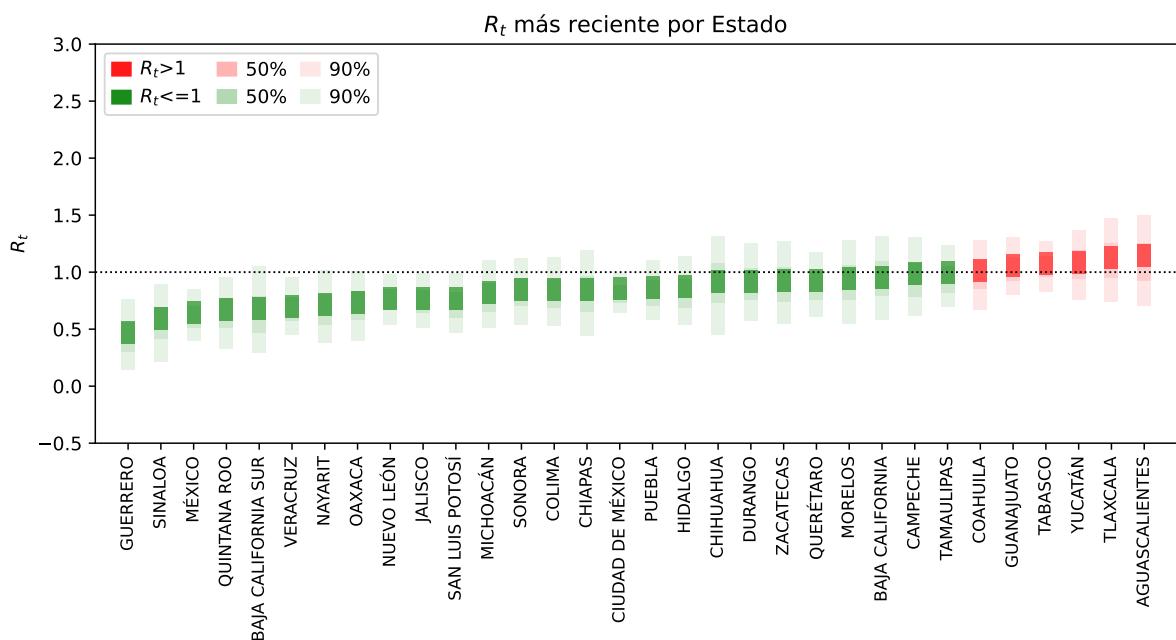


Fig. 1.1: Valor de R_t más reciente para los 32 estados de México.

1.2 Estimaciones de R_t por Zona Metropolitana en Orden Ascendente

Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

La figura 1.2 muestra las estimaciones del R_t para las 25 Zonas Metropolitanas con mayor número de casos confirmados de COVID-19, ordenadas de manera ascendente. Se tomaron los datos de nuevos casos hasta el día 27 de Agosto de 2021. En verde se muestran las zonas metropolitanas para las que el R_t estimado es menor a 1. Se incluyen los intervalos de máxima densidad del 50 % y 90 %.

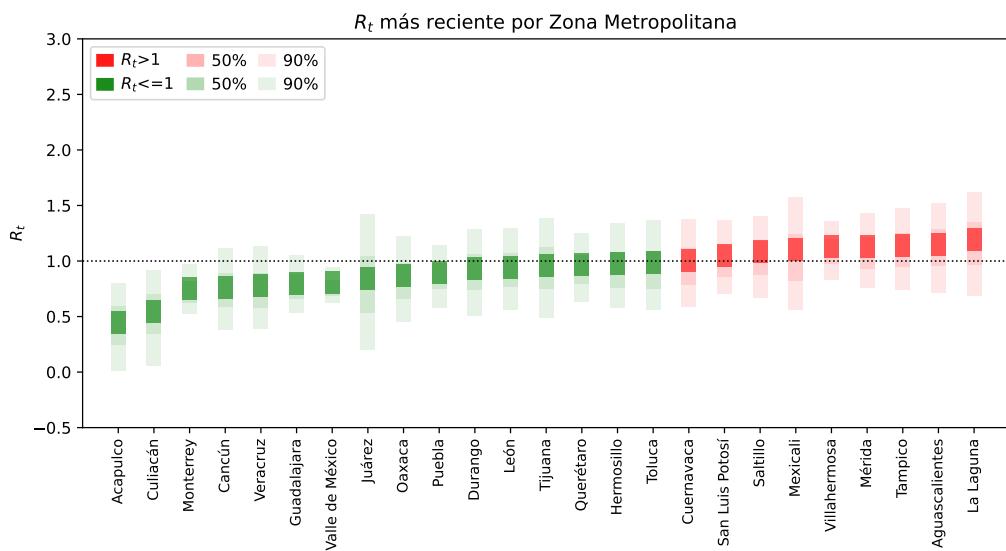
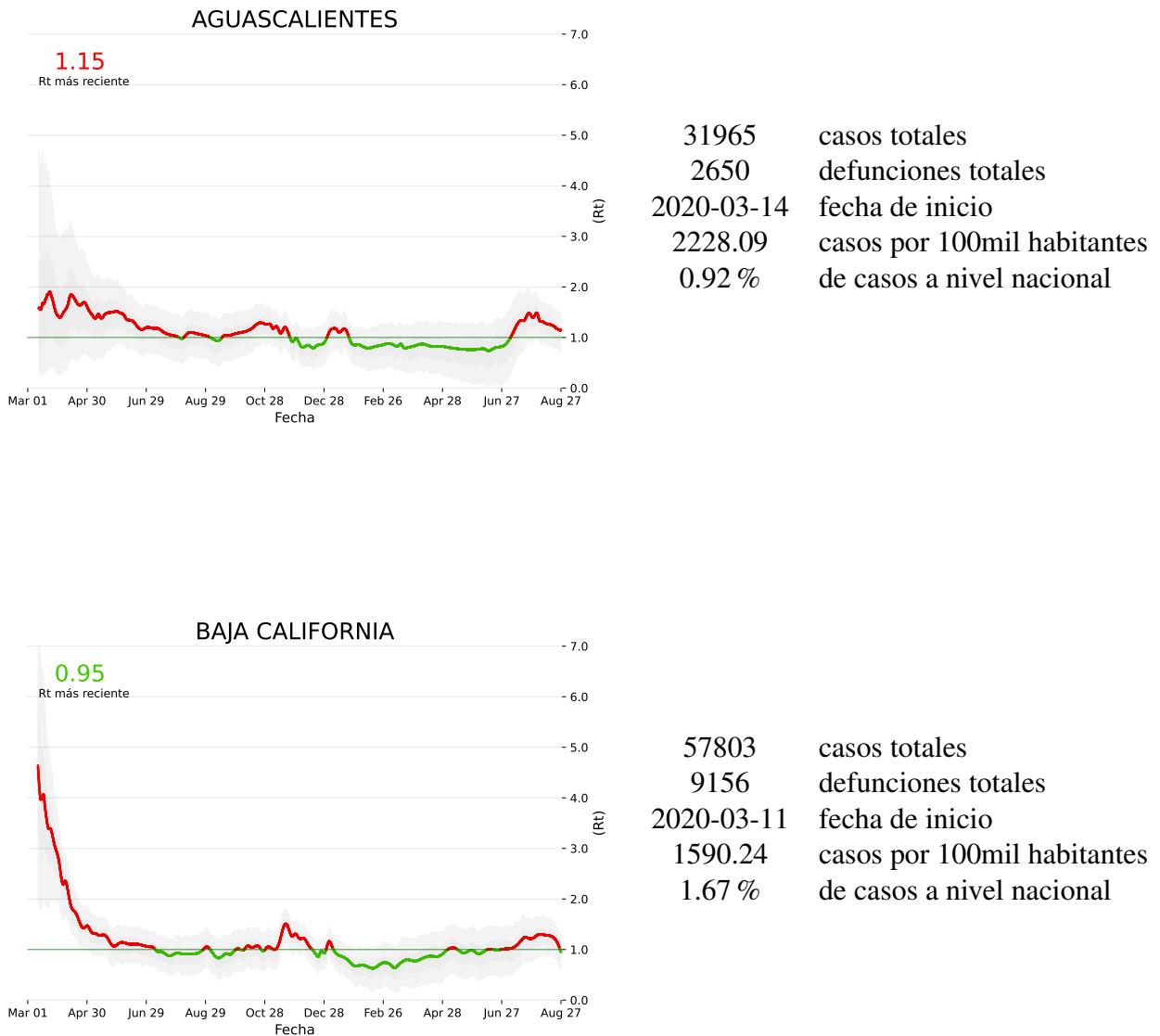


Fig. 1.2: Valor de R_t más reciente para las 25 Zonas Metropolitanas con mayor número de casos.

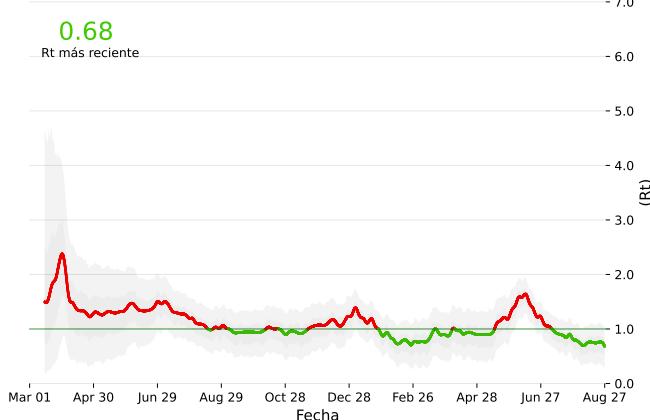
2. Estimaciones de R_t por Estado

Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

A continuación se muestran las gráficas del comportamiento de la tasa R_t a lo largo del tiempo para los 32 estados de México. La fecha inicial se toma a partir de la cual existen datos suficientes para hacer la estimación, mientras que la fecha final corresponde al 27 de Agosto de 2021.

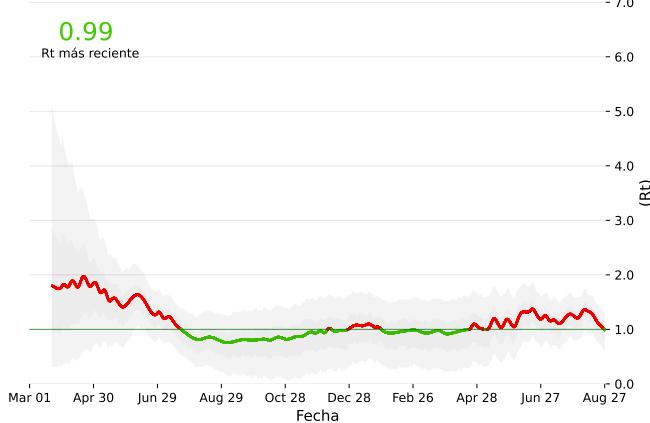


BAJA CALIFORNIA SUR



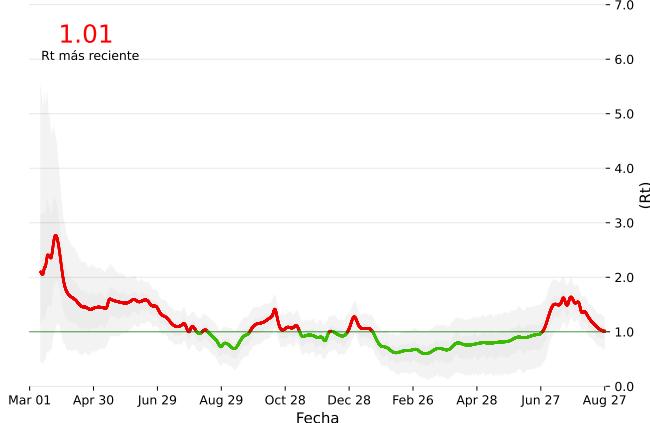
54208 casos totales
2228 defunciones totales
2020-03-18 fecha de inicio
6736.36 casos por 100mil habitantes
1.56 % de casos a nivel nacional

CAMPECHE

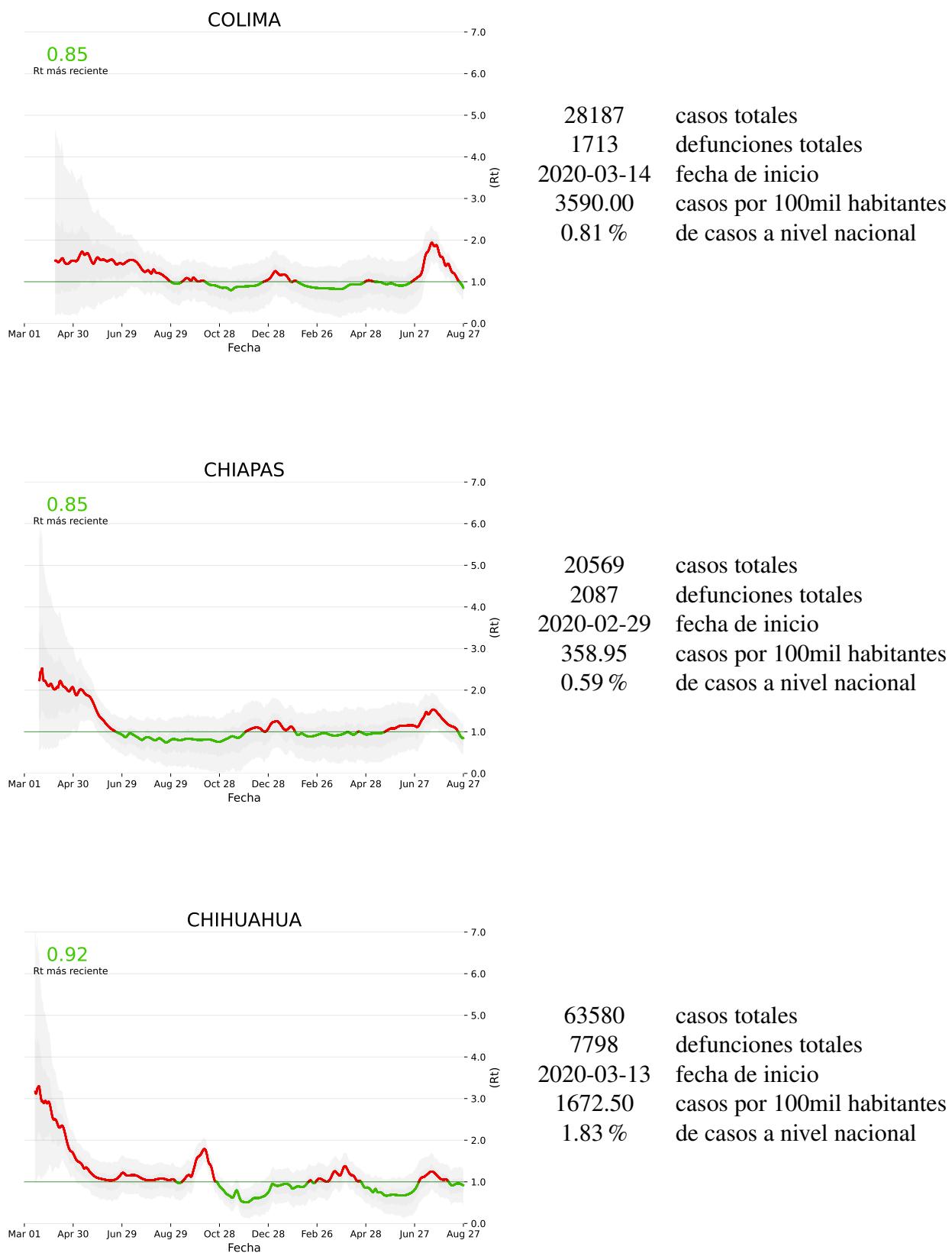


20997 casos totales
1766 defunciones totales
2020-03-08 fecha de inicio
2098.41 casos por 100mil habitantes
0.61 % de casos a nivel nacional

COAHUILA

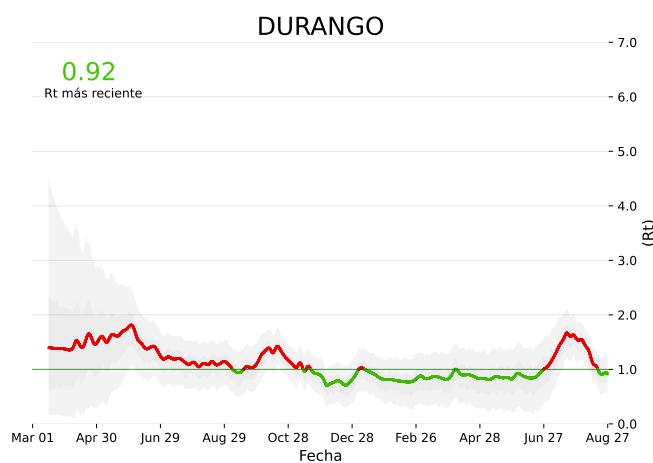


84453 casos totales
6925 defunciones totales
2020-02-28 fecha de inicio
2623.81 casos por 100mil habitantes
2.44 % de casos a nivel nacional





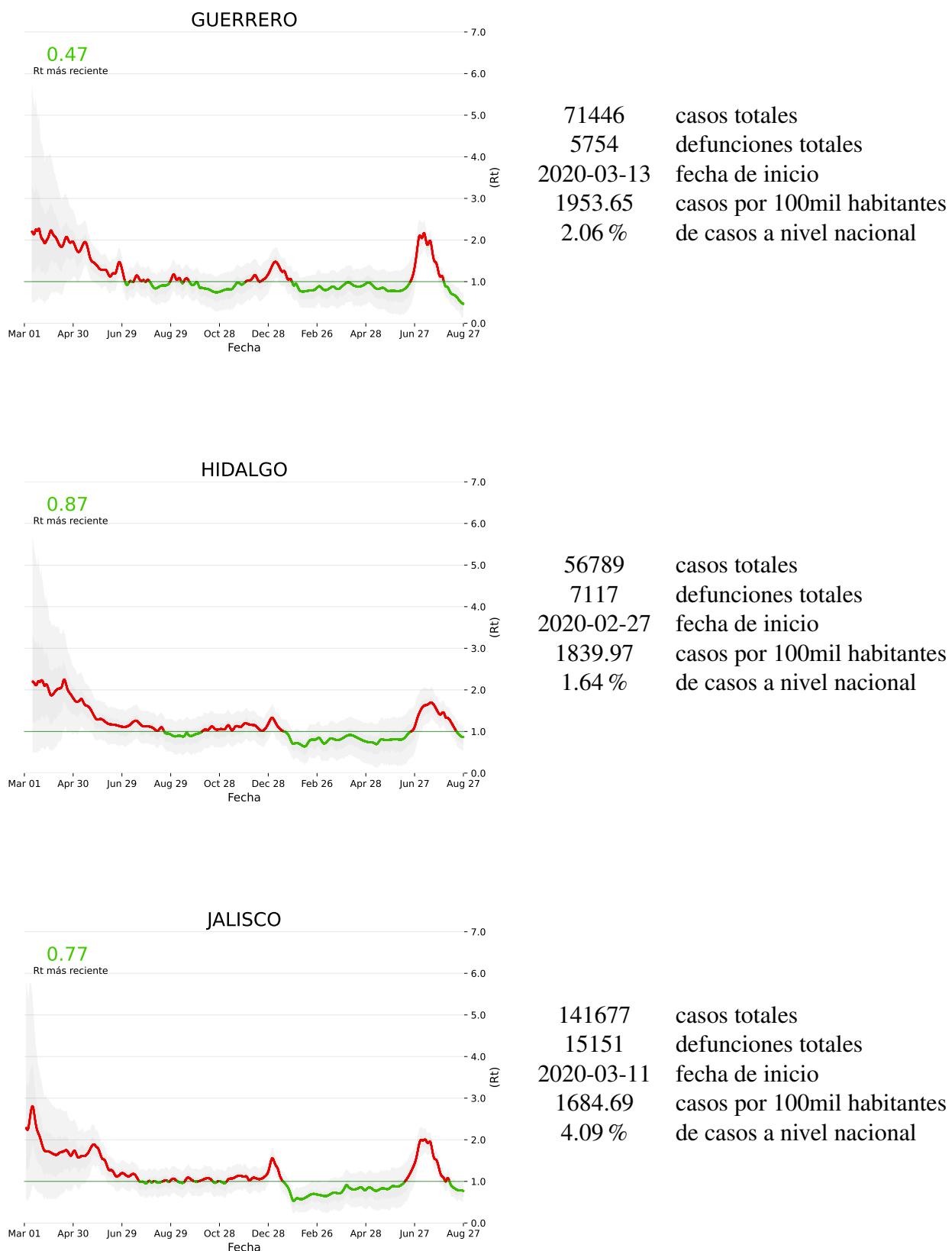
913475 casos totales
 38059 defunciones totales
 2020-02-27 fecha de inicio
 10128.74 casos por 100mil habitantes
 26.36 % de casos a nivel nacional



45351 casos totales
 2842 defunciones totales
 2020-03-11 fecha de inicio
 2426.49 casos por 100mil habitantes
 1.31 % de casos a nivel nacional

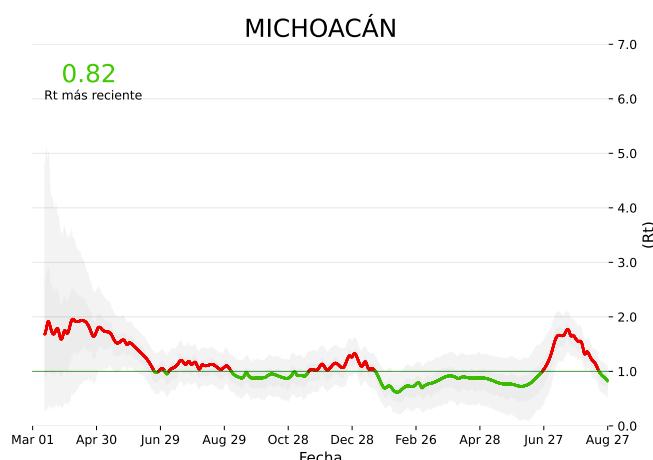


160193 casos totales
 11639 defunciones totales
 2020-03-01 fecha de inicio
 2572.07 casos por 100mil habitantes
 4.62 % de casos a nivel nacional

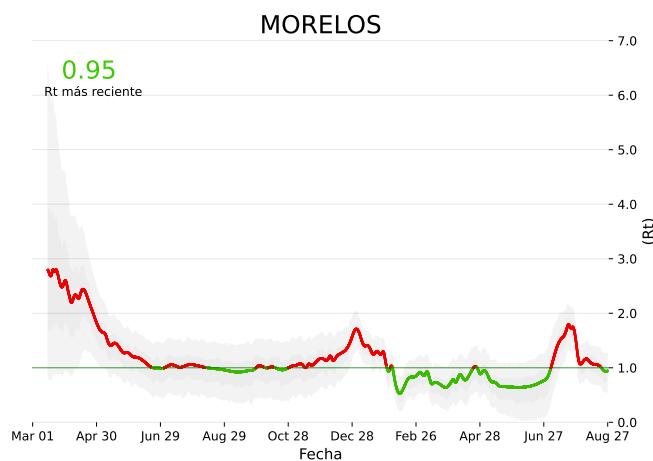




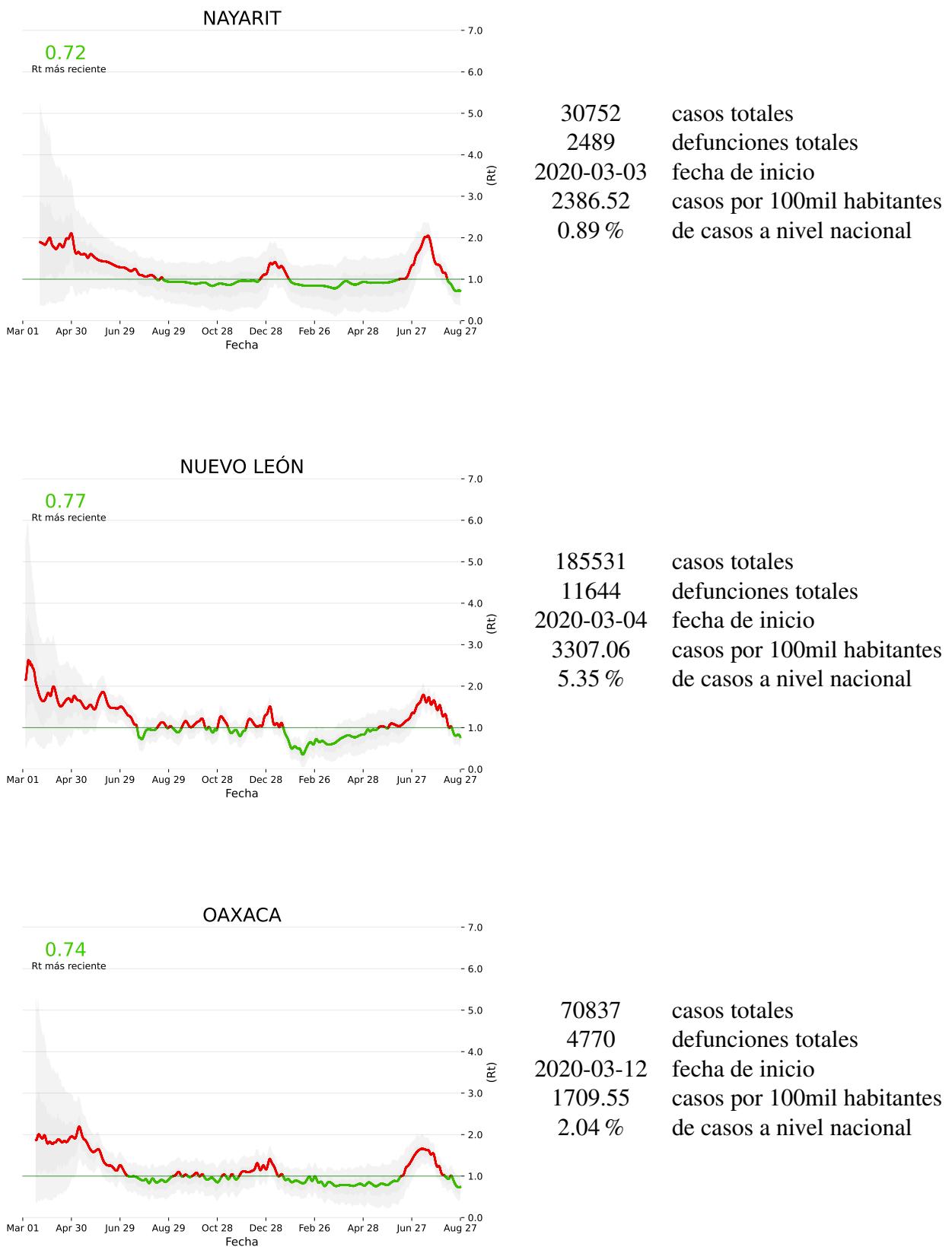
344980 casos totales
 41447 defunciones totales
 2020-02-27 fecha de inicio
 1979.48 casos por 100mil habitantes
 9.96 % de casos a nivel nacional

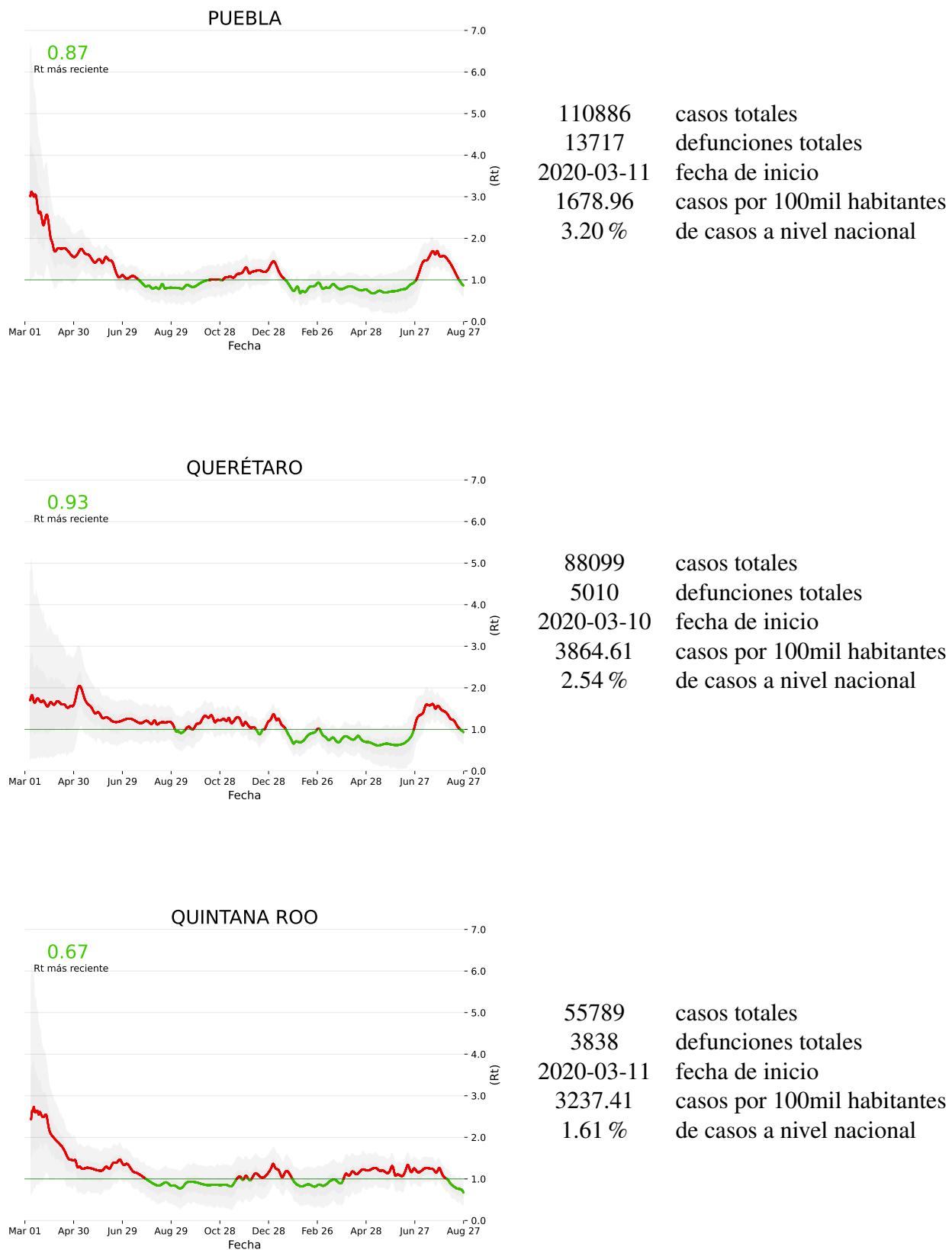


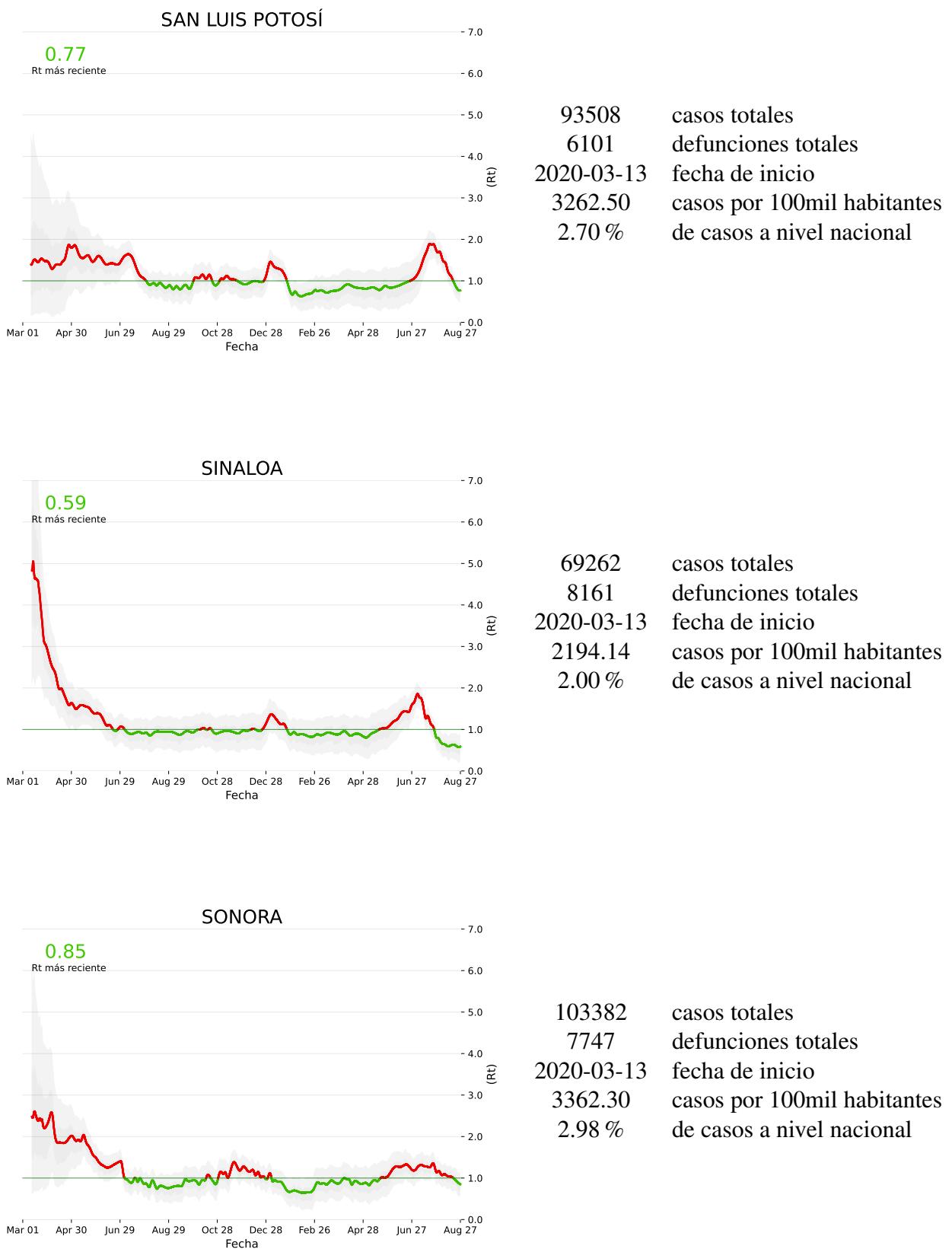
66951 casos totales
 7097 defunciones totales
 2020-03-18 fecha de inicio
 1387.47 casos por 100mil habitantes
 1.93 % de casos a nivel nacional

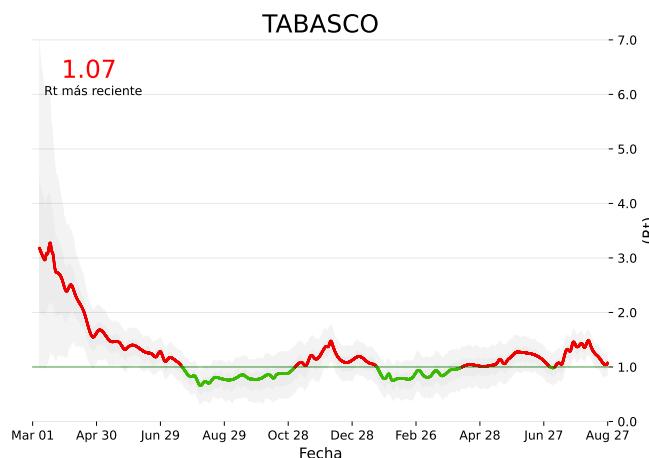


43860 casos totales
 4250 defunciones totales
 2020-03-09 fecha de inicio
 2145.73 casos por 100mil habitantes
 1.27 % de casos a nivel nacional

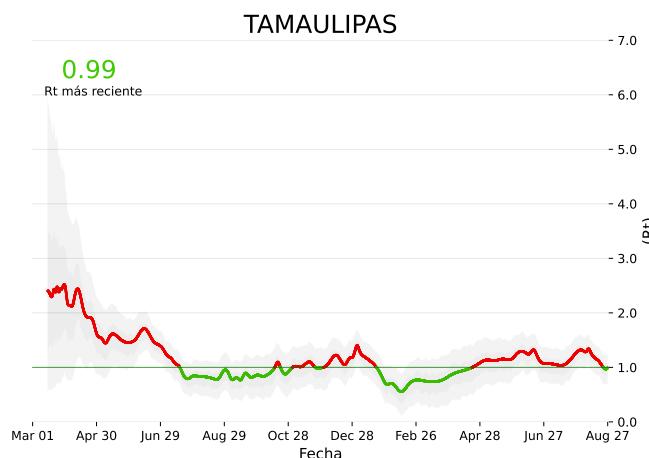




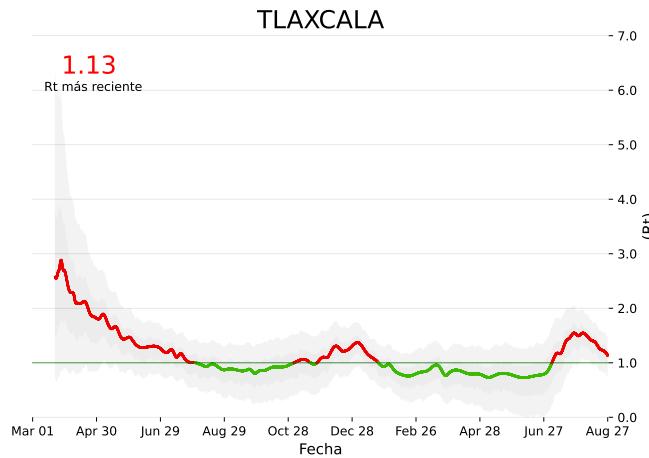




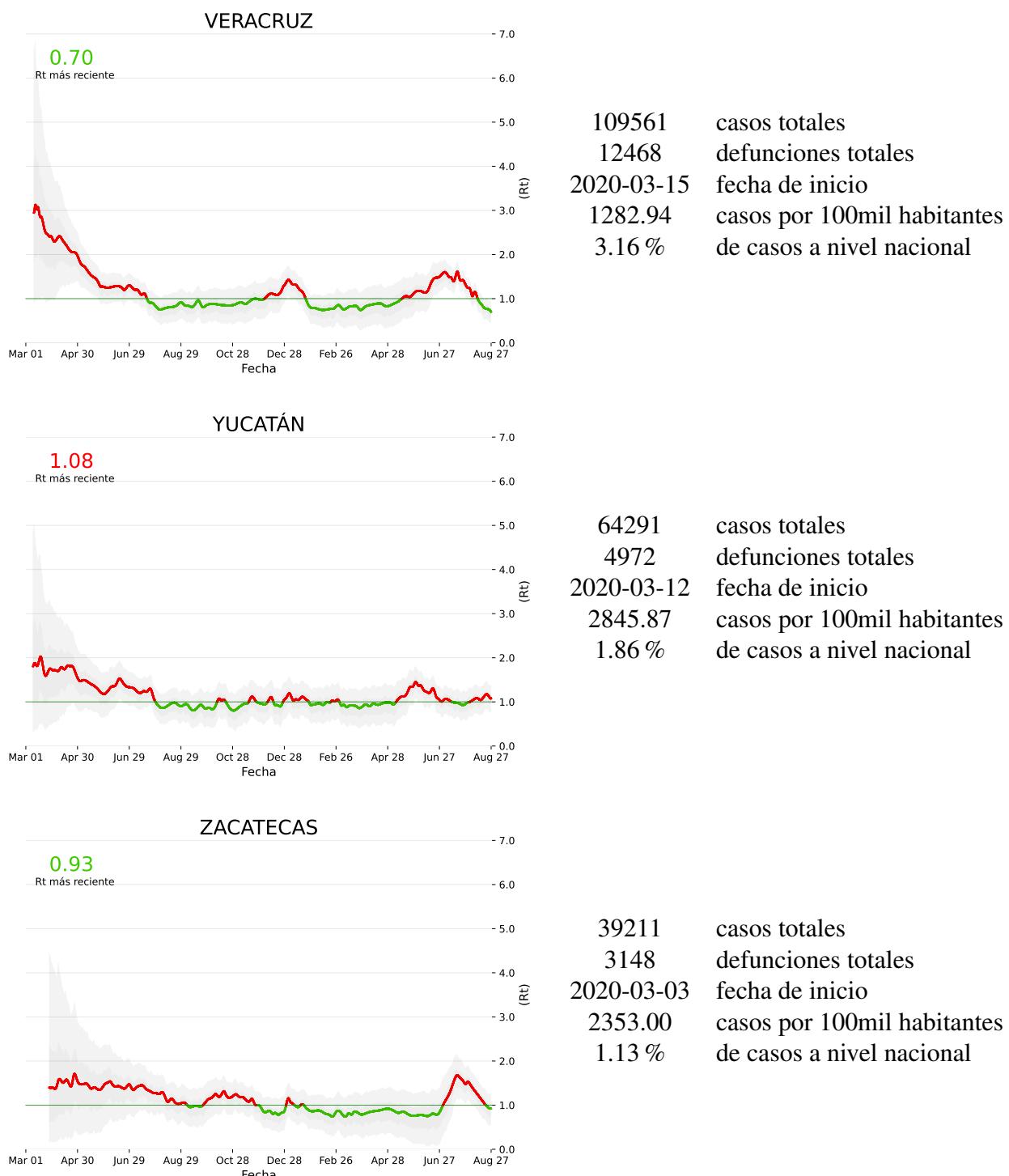
121022 casos totales
4905 defunciones totales
2020-03-04 fecha de inicio
4704.84 casos por 100mil habitantes
3.49 % de casos a nivel nacional



90061 casos totales
6012 defunciones totales
2020-03-15 fecha de inicio
2467.02 casos por 100mil habitantes
2.60 % de casos a nivel nacional



26495 casos totales
2759 defunciones totales
2020-03-06 fecha de inicio
1919.91 casos por 100mil habitantes
0.76 % de casos a nivel nacional



2.1 Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Estado

Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

La figura 2.1 muestra la tasa de crecimiento ($R_t * I$) a lo largo del tiempo, es decir, los casos nuevos esperados por día para la tasa R_t estimada y el número de casos nuevos registrados ese día (I). Se muestra la comparación con la curva nacional (obtenida a partir de los datos por Estado) para observar la contribución de cada uno de los Estados a la tasa de crecimiento nacional.

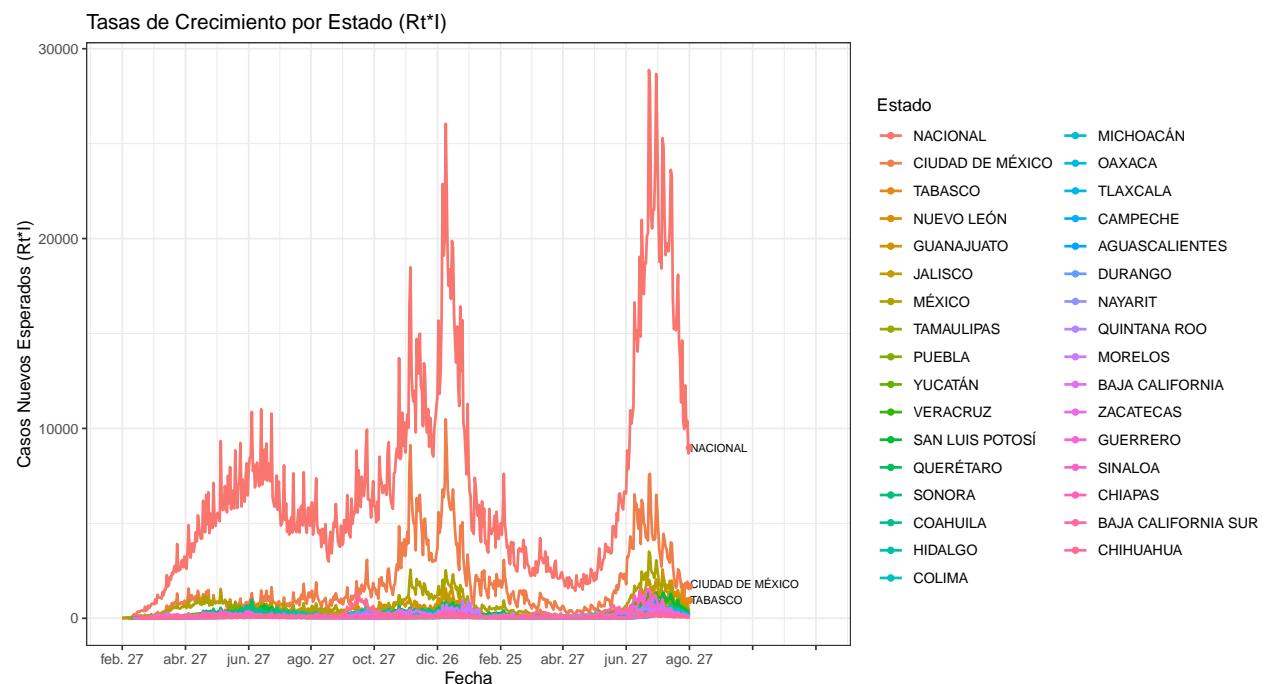
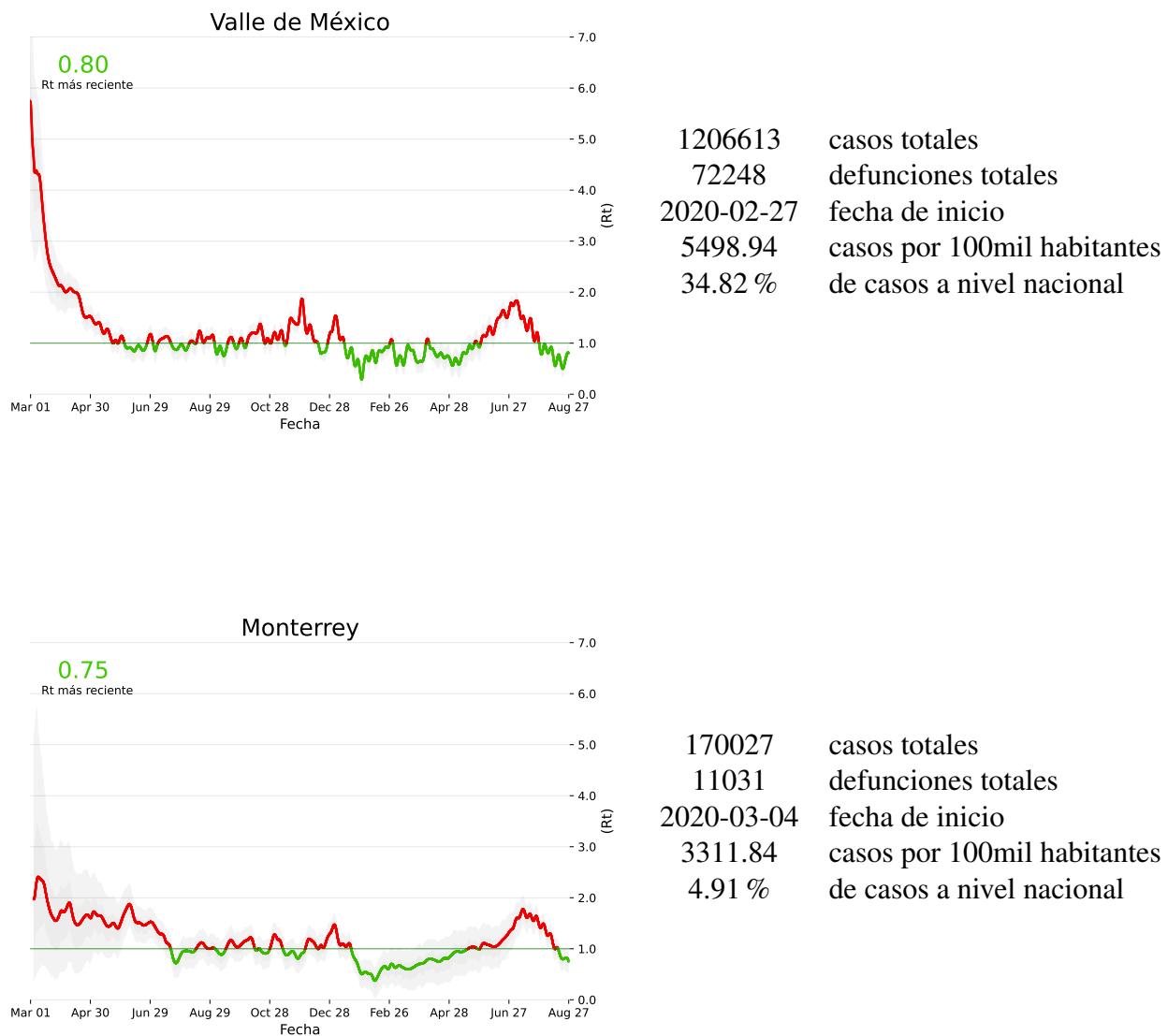


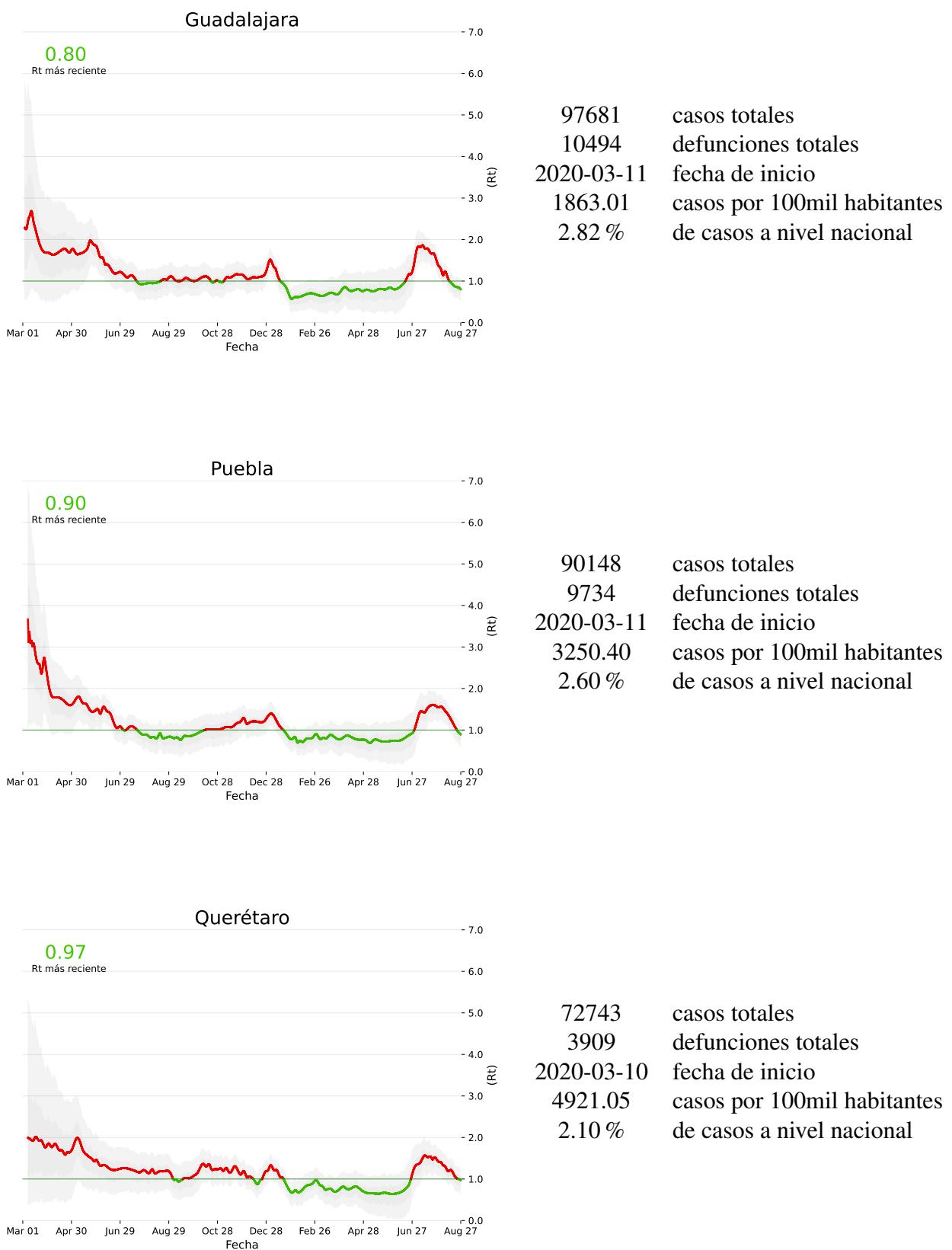
Fig. 2.1: Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Estado.

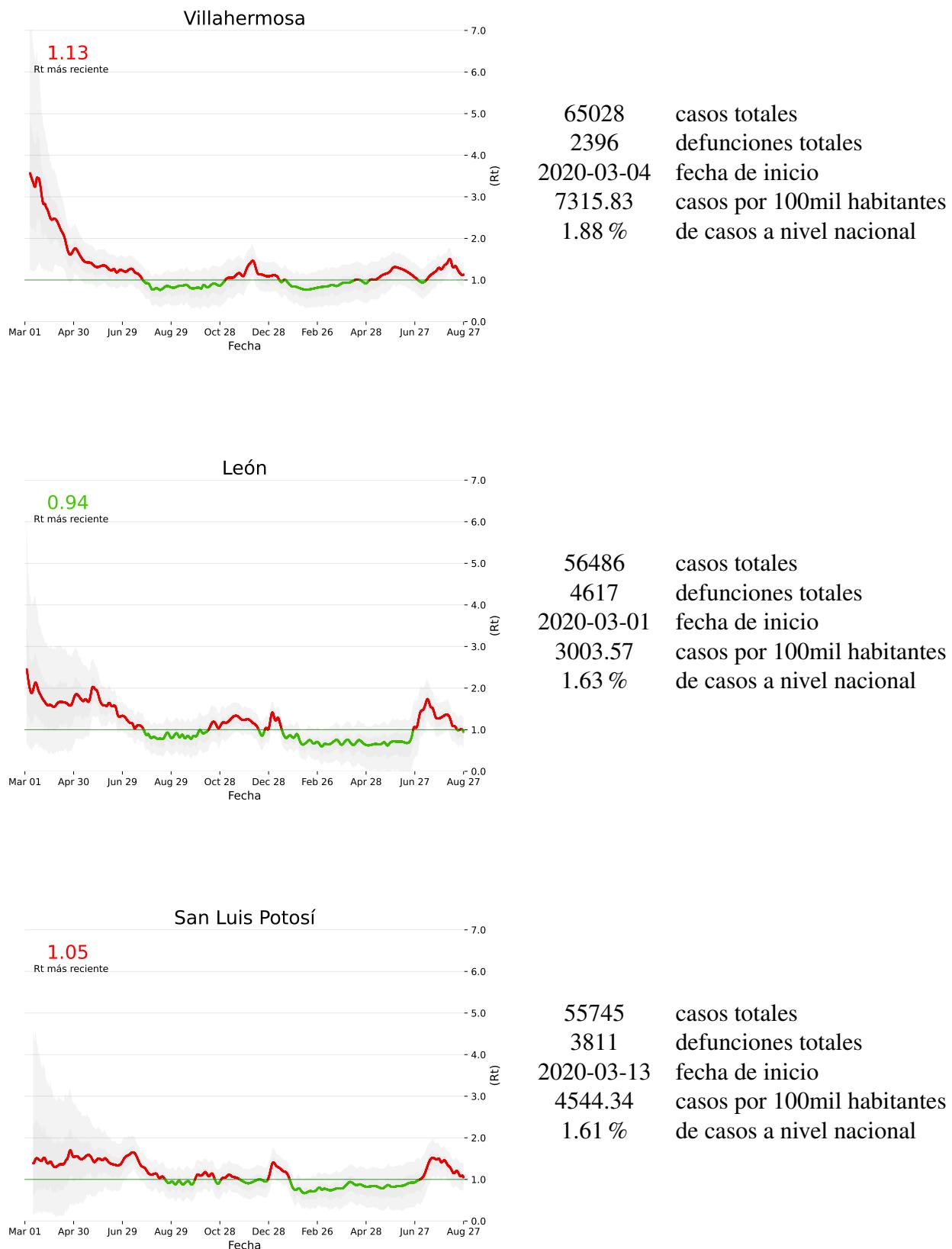
3. Estimaciones de R_t por Zona Metropolitana

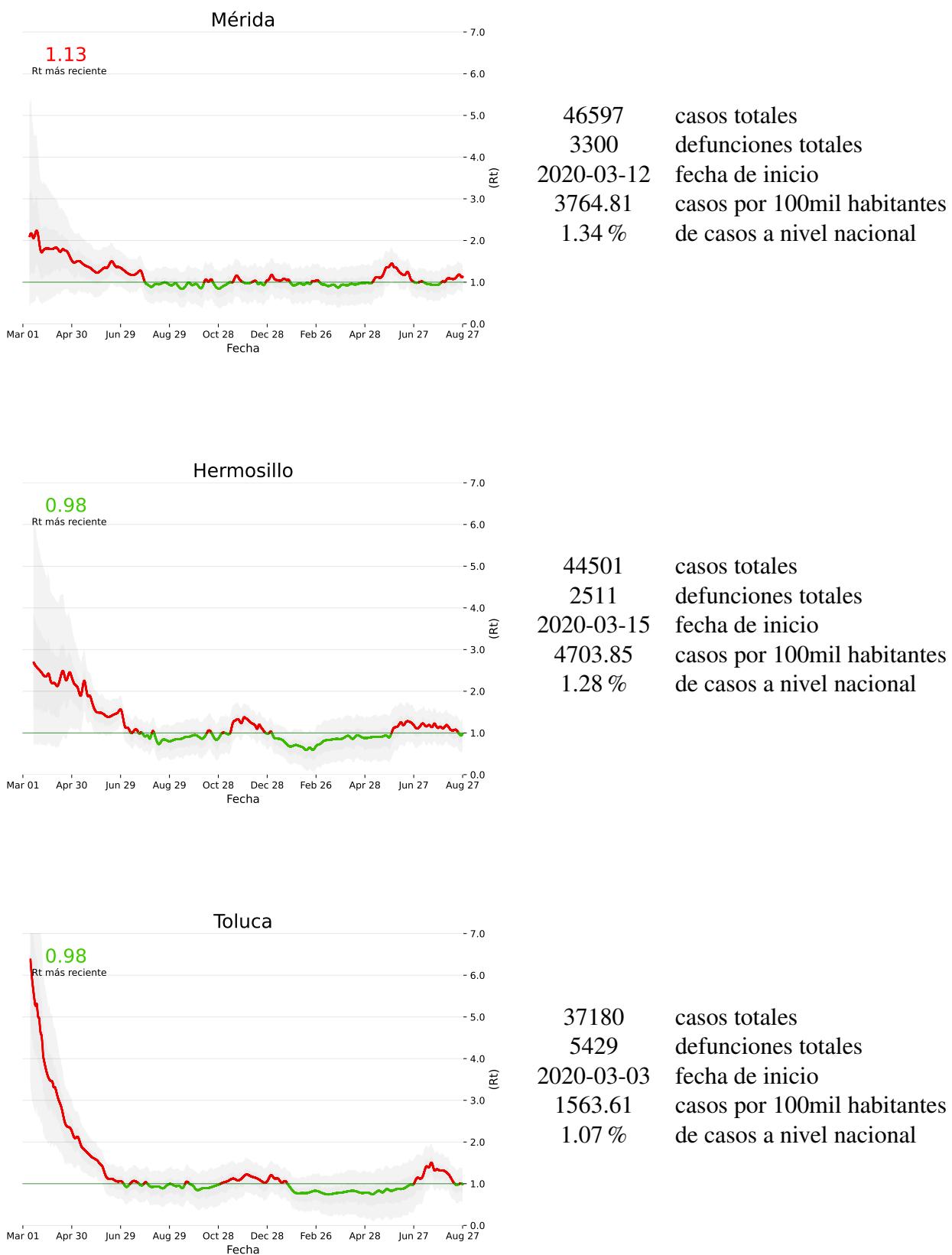
Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

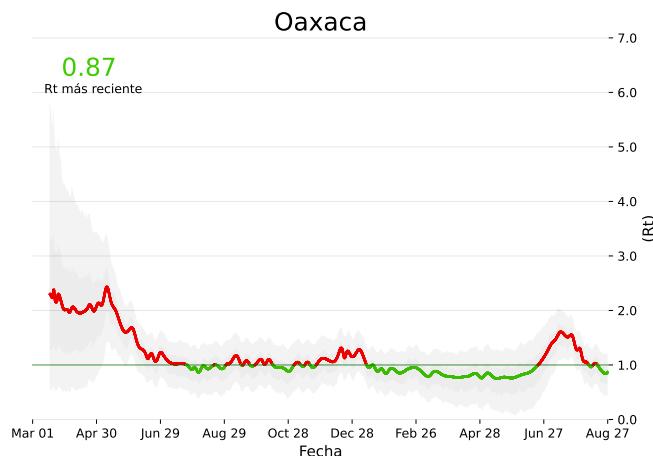
A continuación se muestran las gráficas del comportamiento de la tasa R_t a lo largo del tiempo para las 25 Zonas Metropolitanas con mayor número de casos de COVID-19. La fecha inicial se toma a partir de la cual existen datos suficientes para hacer la estimación, mientras que la fecha final corresponde al 27 de Agosto de 2021.



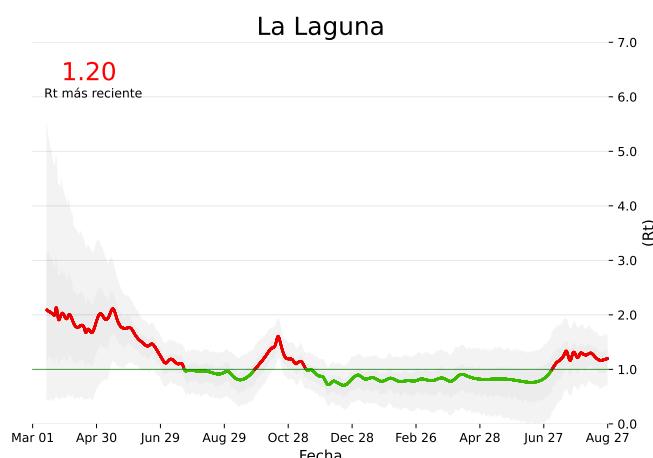




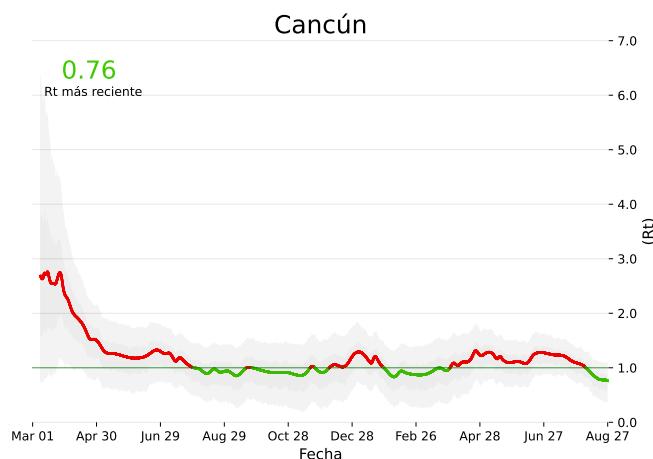




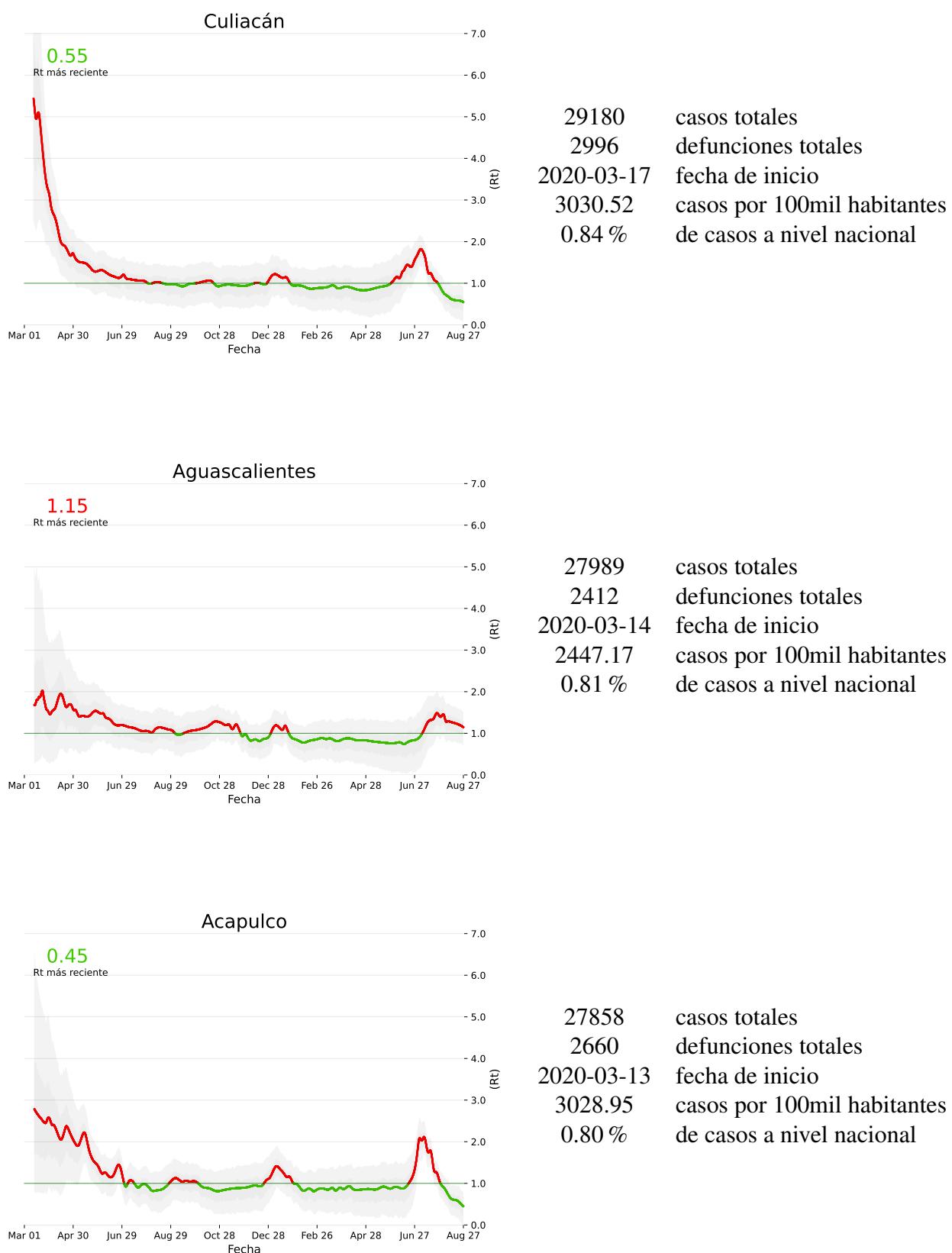
35786 casos totales
1678 defunciones totales
2020-03-13 fecha de inicio
5120.98 casos por 100mil habitantes
1.03 % de casos a nivel nacional

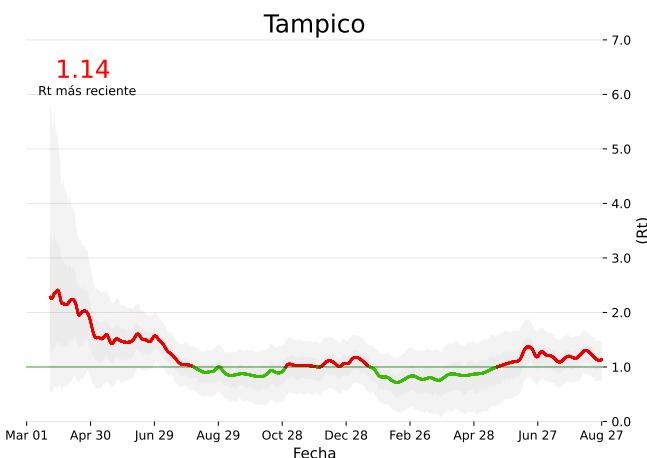


33142 casos totales
2893 defunciones totales
2020-02-28 fecha de inicio
2265.74 casos por 100mil habitantes
0.96 % de casos a nivel nacional

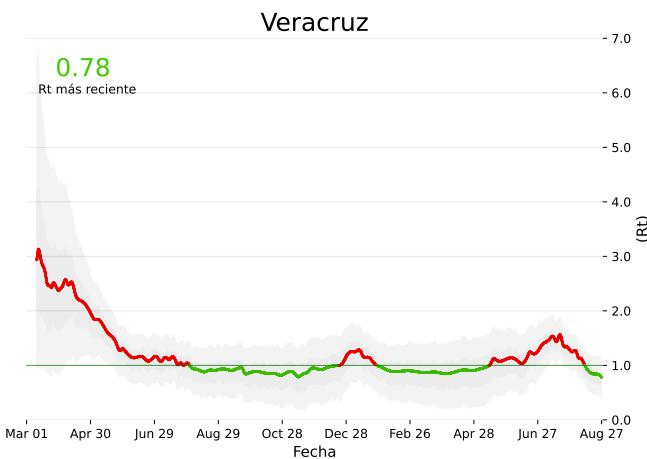


30340 casos totales
2439 defunciones totales
2020-03-12 fecha de inicio
3496.33 casos por 100mil habitantes
0.88 % de casos a nivel nacional

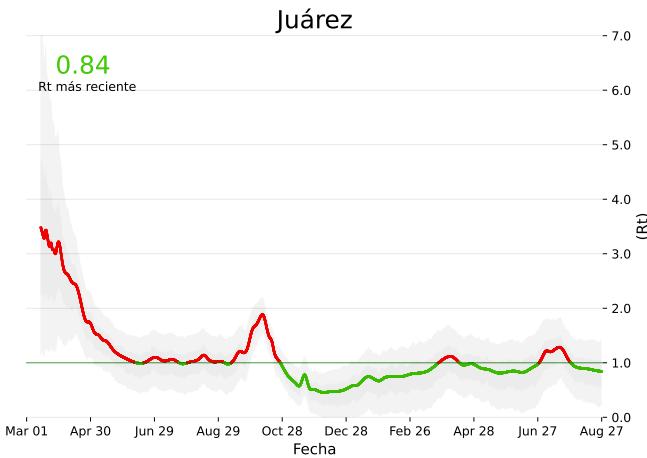




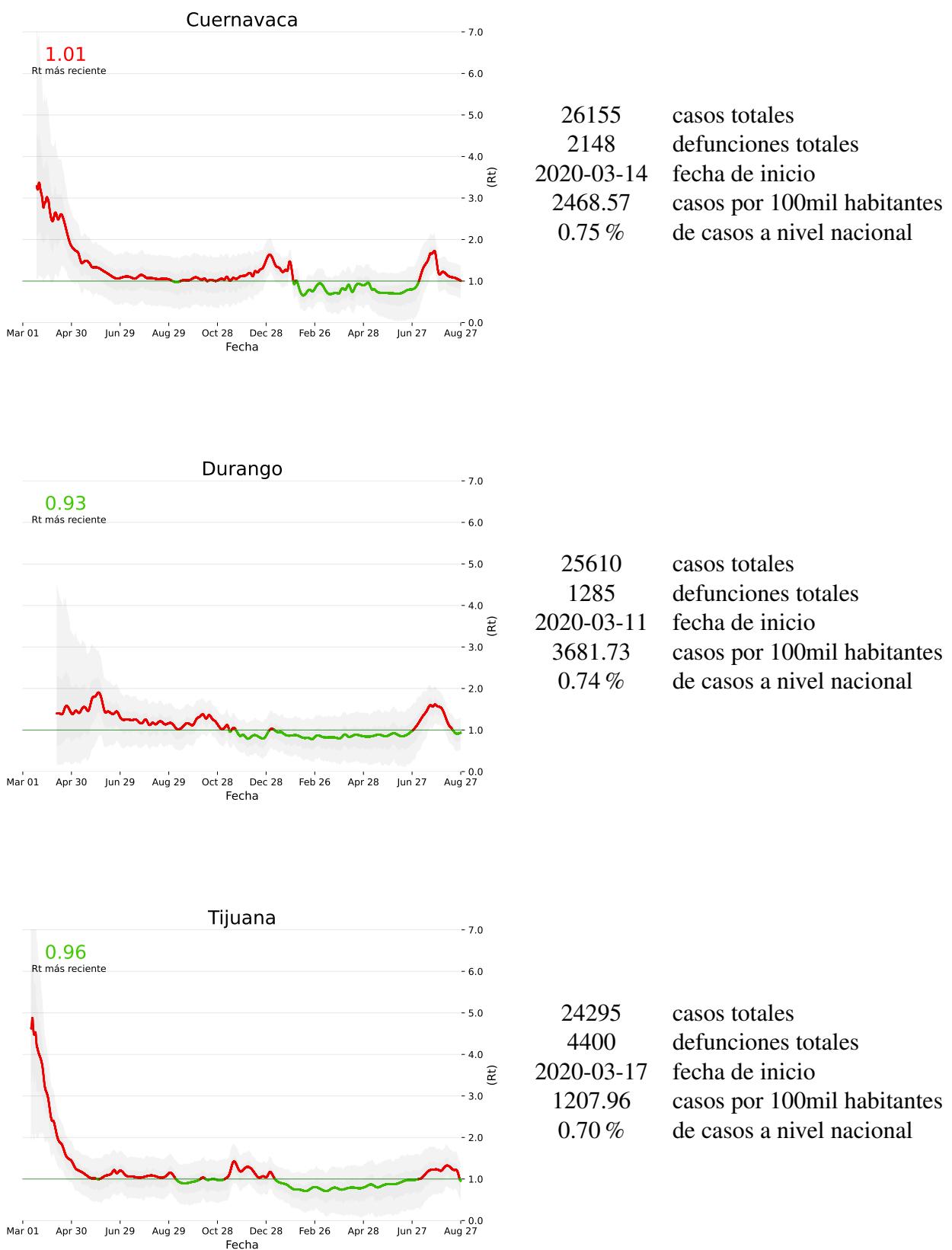
27358 casos totales
1649 defunciones totales
2020-03-15 fecha de inicio
2790.34 casos por 100mil habitantes
0.79 % de casos a nivel nacional

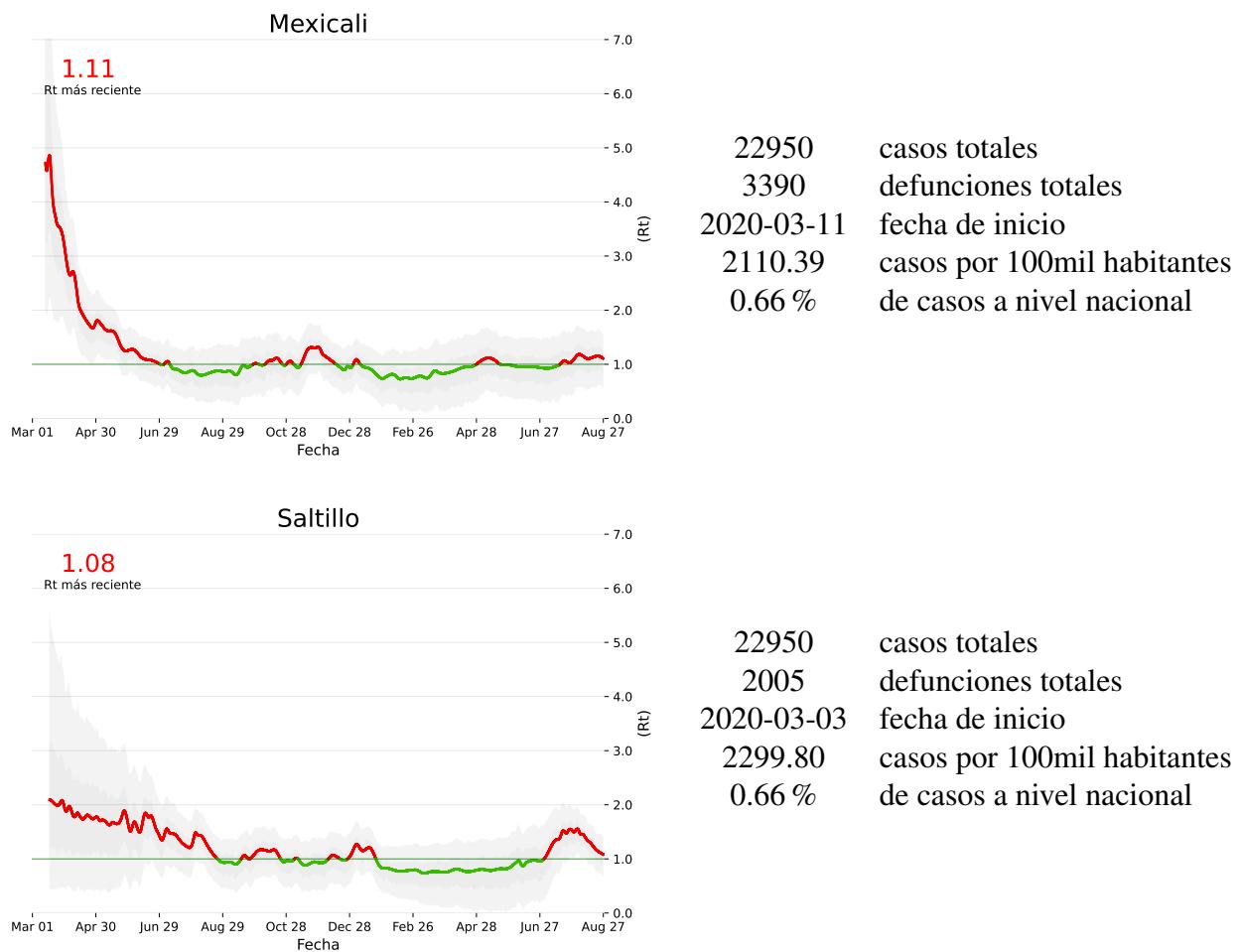


27077 casos totales
2569 defunciones totales
2020-03-15 fecha de inicio
2830.95 casos por 100mil habitantes
0.78 % de casos a nivel nacional



26212 casos totales
3859 defunciones totales
2020-03-14 fecha de inicio
1789.30 casos por 100mil habitantes
0.76 % de casos a nivel nacional





3.1 Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Zona Metropolitana

Las estimaciones se obtuvieron a partir de los datos oficiales del Gobierno Federal al día 08 de Septiembre de 2021

La figura 3.1 muestra la tasa de crecimiento ($R_t * I$) a lo largo del tiempo para Zonas Metropolitanas, es decir, los casos nuevos esperados por día para la tasa R_t estimada y el número de casos nuevos registrados ese día (I). Se muestra la comparación con la curva nacional (obtenida a partir de los datos por Estado) para observar la contribución de cada una de las Zonas Metropolitanas a la tasa de crecimiento nacional.

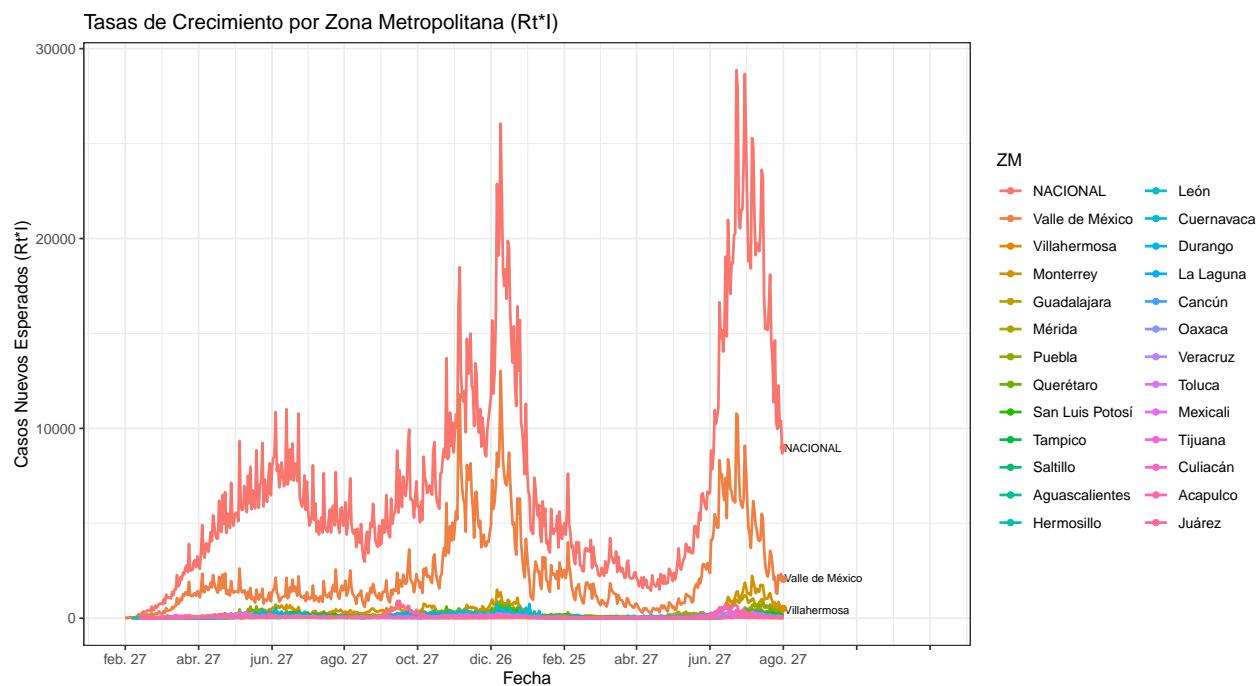


Fig. 3.1: Tasa de Crecimiento ($R_t * I$) por Zona Metropolitana.

4. Metodología de Estimación de R_t

4.1 Metodología para la Estimación del R_t .

A continuación se resume la metodología utilizada para estimar el valor de la tasa de reproducción R_t cada día por Estados y Zonas Metropolitanas de la República Mexicana. La cual está basada en la propuesta del sitio *Estimating COVID-19's Rt in Real-Time* [1], que estima los valores de R_t para los Estados Unidos de América.

Esta tasa de reproducción es una medida de la rapidez con la que se transmite la enfermedad COVID-19, pues se refiere al número promedio de personas que son infectadas por una persona infecciosa. Si el valor de R_t es superior a 1.0, la enfermedad continúa su expansión, mientras que si es menor a 1.0 la expansión se está deteniendo.

4.1.1 Datos de entrada para la estimación

Los datos a partir de los cuáles se estiman los valores de R_t corresponden a la información oficial provista por el Gobierno de México, a través de su portal de acceso abierto, respecto a los casos confirmados de COVID-19 en el país (ver el sitio).

Mediante estos datos se determina la serie de nuevos casos confirmados por día para cada uno de los estados, tomando como fecha el día de presentación de los síntomas de cada individuo. Se descartan los datos correspondientes a los últimos 7 días y se aplica un suavizado con promedio móvil ponderado. La siguiente gráfica muestra los nuevos casos diarios para la Ciudad de México hasta el 26 de abril, a manera de ejemplo.



4.1.2 Estimación de la tasa de reproducción efectiva R_t

Se estima la probabilidad a posteriori $P(R_t|k)$ utilizando el Teorema de Bayes, donde t es el día y k es el número de casos nuevos de COVID-19 en ese día:

$$P(R_t|k) = \frac{P(k|R_t) \cdot P(R_t)}{P(k)} \quad (4.1)$$

Para la verosimilitud $P(k|R_t)$ se propone una distribución Poisson:

$$P(k|R_t) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (4.2)$$

con parámetro $\lambda = k_{t-1}e^{\gamma(R_{t-1})}$, que depende del número de casos nuevos del día anterior y del parámetro $\gamma = 1/12$, pues el intervalo serial es de 12 días.

La probabilidad a priori $P(R_t)$ se calcula a partir de la probabilidad a priori del día anterior $P(R_{t-1})$, asumiendo que $P(R_t|R_{t-1})$ sigue una distribución normal centrada en R_{t-1} , es decir $N(R_{t-1}, \sigma)$. Para cada estado o zona metropolitana se selecciona el valor de σ que maximiza la verosimilitud de $P(k|\sigma)$ para un rango de valores propuesto.

Para estimar la posterior $P(R_t|k)$ del día t , se fija k , pues se conoce el número de nuevos casos en el día t , y se varía R_t en un rango propuesto entre 0 y 12. Se repite el proceso de manera iterativa para calcular la probabilidad posterior para cada día de la serie. La siguiente figura muestra las distribuciones posteriores diarias obtenidas para la Ciudad de México.



Para cada estado y zona metropolitana se seleccionó un valor de R_0 inicial, a partir del cuál se inicia la estimación del R_t :

Estado	R_0	Zona Metropolitana	R_0
AGUASCALIENTES	1.6	Valle de México	7.0
BAJA CALIFORNIA	4.8	Monterrey	2.0
BAJA CALIFORNIA SUR	1.5	Guadalajara	2.3
CAMPECHE	1.8	Puebla	3.3
COAHUILA	2.1	Querétaro	2.0
COLIMA	1.5	Villahermosa	3.6
CHIAPAS	2.3	León	2.5
CHIHUAHUA	3.2	San Luis Potosí	1.4
CIUDAD DE MÉXICO	7.0	Mérida	2.1
DURANGO	1.4	Hermosillo	2.7
GUANAJUATO	2.2	Toluca	6.5
GUERRERO	2.2	Oaxaca	2.3
HIDALGO	2.2	La Laguna	2.1
JALISCO	2.3	Cancún	2.7
MÉXICO	6.0	Culiacán	5.5
MICHOACÁN	1.7	Aguascalientes	1.7
MORELOS	2.8	Acapulco	2.8
NAYARIT	1.9	Tampico	2.3
NUEVO LEÓN	2.2	Veracruz	3.0
OAXACA	1.9	Juárez	3.5
PUEBLA	3.1	Cuernavaca	3.3
QUERÉTARO	1.7	Durango	1.4
QUINTANA ROO	2.5	Tijuana	4.8
SAN LUIS POTOSÍ	1.4	Mexicali	4.8
SINALOA	5.0	Saltillo	2.1
SONORA	2.5		
TABASCO	3.2		
TAMAULIPAS	2.4		
TLAXCALA	2.6		
VERACRUZ	3.0		
YUCATÁN	1.8		
ZACATECAS	1.4		

Tabla 4.1

Finalmente para cada día se calculan los **intervalos de máxima densidad (HDI)** para el 50 % y el 90 %, así como el valor de máxima verosimilitud (ML), a partir de la posterior $P(R_t|k)$. La

siguiente tabla muestra los valores estimados para 5 días de la Ciudad de México, a manera de ejemplo.

	ML	Low_50	High_50	Low_90	High_90
date					
2020-04-22	0.81	0.59	0.92	0.40	1.19
2020-04-23	0.79	0.59	0.92	0.38	1.18
2020-04-24	0.80	0.57	0.91	0.38	1.19
2020-04-25	0.81	0.59	0.93	0.37	1.19
2020-04-26	0.82	0.62	0.96	0.38	1.21

Referencias

- [1] Systrom K. (2020). Estimating COVID-19's Rt in Real-Time. Del sitio <https://github.com/k-sys/covid-19/blob/master/Realtime%20R0.ipynb>
- [2] Systrom K., Vladeck T. & Krieger M. (2020). Rt Covid-19. Del sitio <https://rt.live/>