



**ESTADO
DE LA NACIÓN**

Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2019

Investigación de base

Análisis espacial de las incautaciones de *Cannabis SPP* en Costa Rica 2007-2018

Investigadores:

Vladimir González Gamboa

Rudy Muñoz Jiménez

San José | 2019



Esta Investigación se realizó para el capítulo Armonía con la Naturaleza, del Informe Estado de la Nación 2019.

Las cifras de esta investigación pueden no coincidir con las consignadas en el *Informe Estado de la Nación 2019* en el capítulo respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Tabla de Contenido

Introducción.....	4
Fase descriptiva	4
Aspectos generales del cultivo	4
Análisis de incautaciones en Costa Rica	5
Relación con variables biofísicas.....	7
Altitud	8
Precipitación y temperatura	8
Suelo.....	9
Relación con variables sociodemográficas	10
Densidad de población	10
Índice de Desarrollo Social.....	11
Territorios indígenas	12
Áreas Silvestres Protegidas	13
Fase Analítica	14
Distribución de la marihuana: posibles condicionantes	14
Análisis de reincidencia	15
Fase Predictiva.....	17
Autocorrelación de cultivos	17
Modelo Predictivo: Geographically Weighthed Regression (GWR).....	19
Comportamiento de los Coeficientes y Errores Estandarizados	23
Bibliografía	28
Anexos.....	29

Introducción

Esta investigación analiza la distribución de las incautaciones de *Cannabis spp* en Costa Rica, durante el período 2007-2018, y sus posibles determinantes socio ambientales. La investigación se realizó a partir de una base de datos facilitada por el Instituto Costarricense sobre Drogas (ICD), que contiene información sobre incautaciones de *Cannabis spp* en Costa Rica durante el período 2007-2018. En específico, contiene información sobre las coordenadas de localización por provincia, cantón y distrito, los m² erradicados en cada punto y la cantidad de plantas incautadas en cada punto.

Con base en esta información, se plantean 3 fases (descriptiva, analítica y predictiva). En la fase descriptiva se determinan las generalidades del cultivo, y se busca establecer relaciones o cruces con variables biofísicas y socioeconómicas que condicionan el crecimiento del cultivo de marihuana. Estas relaciones se analizan por medios cartográficos y estadísticos. La fase analítica busca establecer y priorizar las relaciones entre las variables condicionantes y la distribución analizada en la fase analítica. Este análisis incluye la realización de mapas de interpolación y de reincidencia. Por último, la fase predictiva permitirá mediante un modelo predictivo estimar en que distritos existe vulnerabilidad hacia la existencia de plantaciones, dadas las variables socio ambientales.

Fase descriptiva

Aspectos generales del cultivo

La especie *Cannabis sativa* (también conocida como planta de marihuana) pertenece a la familia Cannabaceae, siendo una planta dioica (con sexos separados: tallo macho y tallo hembra). Es uno de los productos agrícolas más versátiles, siendo utilizado para producir diversidad de productos y subproductos, entre ellos papel, textiles, cosméticos, medicamentos y sustancias psicoactivas, entre otros (Fassio, 2013).

C. sativa suele crecer entre 4 y 6 m. y sus principales requerimientos son:

- Temperatura: puede desarrollarse en un amplio rango de temperaturas (6 a 34°C), aunque la temperatura ideal para la germinación es de 24°C (Brindis, 2015). En este sentido, su principal barrera son las temperaturas menores a 4°C.
- Agua: esta especie produce mucha materia seca en un período corto de tiempo, por lo que requiere de gran cantidad de agua. Los volúmenes requeridos van de 300 a 700 mm por ciclo de cultivo, que es de aproximadamente 6 meses.
- Suelo: según Van der Werf (1994) además de suelos con buena humedad, la planta de marihuana requiere que sean ricos en nutrientes, con un pH óptimo de 6,5. Los nutrientes limitantes para alcanzar sus máximos productivos son el nitrógeno, potasio y fósforo.

Este cultivo es sugerido como elemento clave en las rotaciones agronómicas, basándose en las habilidades que posee para competir con las malezas.

Debido al amplio rango climático que posee y a la diversidad de usos que se le puede dar, las plantaciones de marihuana se distribuyen tanto en regiones templadas como tropicales, siendo México, Marruecos y Nigeria los principales productores (UNODC, 2018).

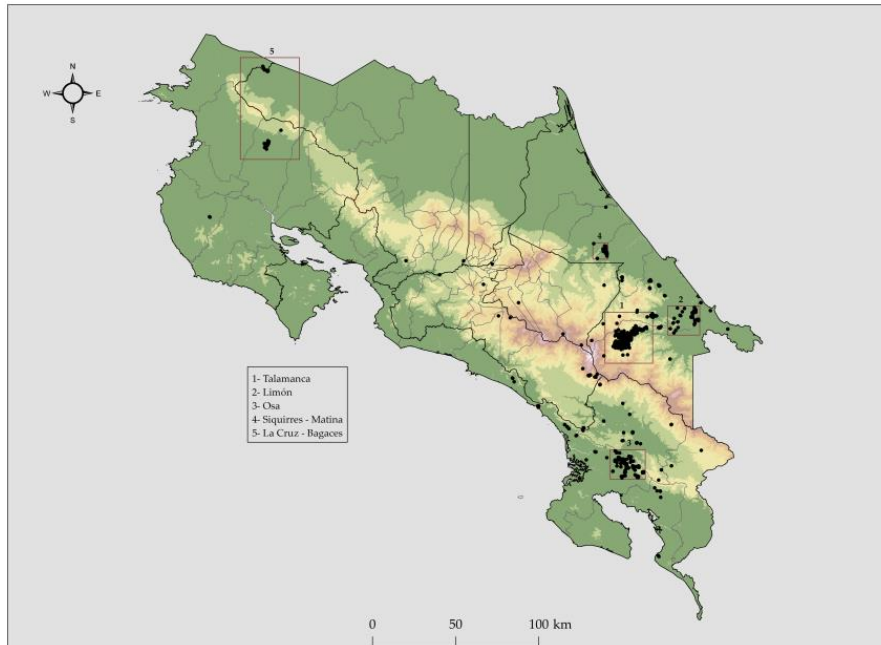
Para efectos de la presente investigación, debido a que la base de datos utilizada no especifica la variedad de planta incautada, en adelante se utilizará el término *Cannabis spp* para denotar las plantas confiscadas.

Análisis de incautaciones en Costa Rica

A partir de la base de datos brindada por el ICD, la distribución de las incautaciones correspondientes al período 2007 – 2018 se muestra a continuación:

Mapa 1

Incautaciones de marihuana durante el 2007 – 2018



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

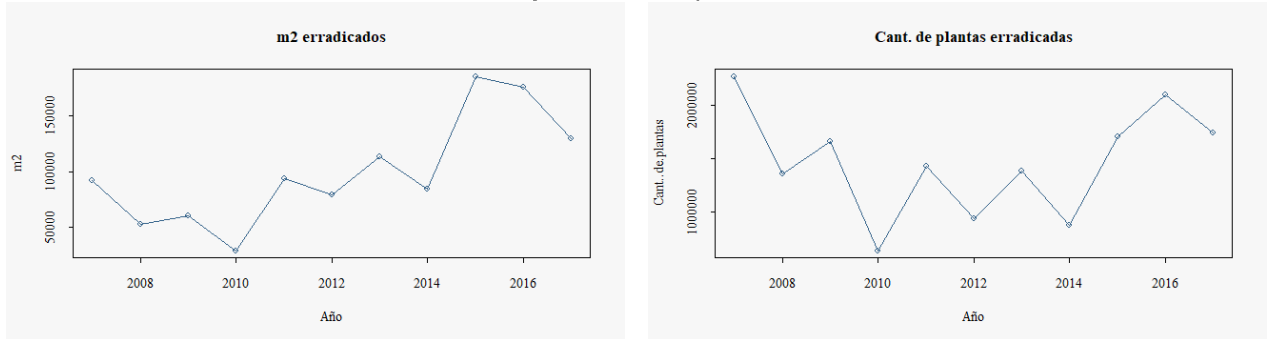
La distribución de las incautaciones se concentra principalmente en el Sur del país, tanto en la vertiente Pacífica como Caribe. Los puntos tienden al agrupamiento (a excepción de algunos ubicados en el Valle Central y la Zona de los Santos), existiendo cinco zonas prioritarias según la cantidad de puntos presentes, que son:

- Alta Talamanca
- Baja Talamanca
- Osa
- Siquirres – Matina
- La Cruz – Bagaces

En los 11 años que conforman el período de tiempo en estudio se incautaron 16.095.567 plantas de marihuana en 1.095.614,31 m², lo cual da como resultado un promedio de 121.900 plantas incautadas mensualmente. El siguiente gráfico muestra la evolución de ambas variables.

Gráfico 1

Evolución de metros cuadrados erradicados y cantidad de plantas erradicadas



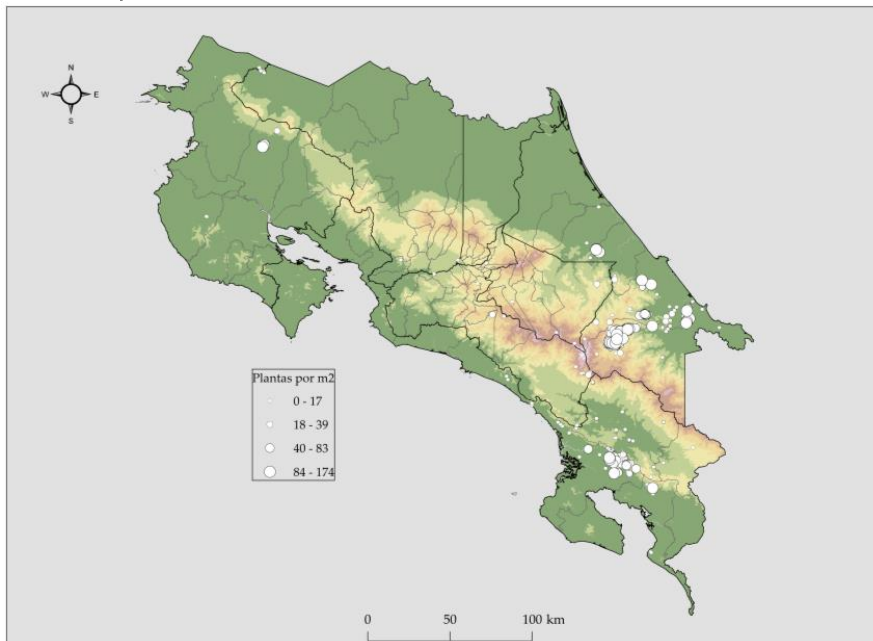
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

La cantidad de metros cuadrados erradicados muestra una tendencia a la alza, especialmente en años electorales, mientras que la cantidad de plantas erradicadas no muestra un comportamiento claro, variando constantemente sus registros. Esta información fue corroborada por medio de la prueba de tendencia Mann – Kendall, la cual indica que el aumento en la cantidad de metros cuadrados erradicados es estadísticamente significativo.

Combinando la información de m² y cantidad de plantas se obtiene el mapa de densidad de plantas por m² (mapa 2), del cual se concluye que la mayoría de cultivos incautados desarrollan de 18 a 83 plantas por m², y que las plantaciones de densidad baja (de 0 a 17) son poco comunes.

Mapa 2

Densidad por m² de incautaciones de marihuana durante el 2007 – 2018



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

En cuanto a la ubicación político-administrativa de las incautaciones, el siguiente cuadro resume las provincias, cantones y distritos con más ocurrencias.

Cuadro 1

Provincias, cantones y distritos con más m² y cantidad de plantas erradicadas
m² erradicados Cantidad de plantas erradicadas

Provincia	-	-
Limón	850.677 (77,6%)	13.473.495 (83%)
Puntarenas	207.243 (19%)	2.117.658 (14%)
Guanacaste	32.998 (3%)	463.007 (2,7%)
San José	4.696 (0,4%)	40.770 (0,2)
Cantón	-	-
Talamanca	692.884 (63,2%)	11.371.510 (70,6%)
Osa	144.952 (13,2%)	1.433.260 (8,9%)
Limón	116.567 (10,6%)	1.669.409 (10,4%)
Buenos Aires	52.667 (4,8%)	601.437 (3,5%)
Bagaces	25.334 (2,3%)	382.901 (2,3%)
Distrito	-	-
Telire (Talamanca)	610.958 (55,8%)	9.565.986 (59,4%)
Valle La Estrella (Limón)	114.282 (10,43%)	1.641.556 (10,2%)
Piedras Blancas (Osa)	66.725 (6,1%)	572.282 (3,55%)
Palmar (Osa)	33.872 (3,1%)	421.578 (2,6%)
Mogote (Bagaces)	25.334 (2,3%)	382.901 (2,4%)

Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

El mayor porcentaje de m² y plantas erradicadas se ubican en Talamanca, específicamente en el distrito Telire, que posee un 59,4% de todas las plantas incautadas en el país, el restante 60,6% se encuentra distribuido en distritos ubicados principalmente en Limón y Puntarenas, que no superan el 10% de la totalidad de plantas. Es importante acotar que Cartago solo presenta una incautación, mientras que Alajuela y Heredia no presentan datos registrados.

Relación con variables biofísicas

Altitud

Según Castro (2016), una de las principales razones que explican la amplia distribución del cultivo de marihuana a nivel mundial es su adaptabilidad a diferentes altitudes. Se trata de una planta que tolera bien los cambios de clima, excepto la congelación, asociada generalmente a altitudes mayores a 3.000 msnm.

Cuadro 2

Total de incautaciones según rango altitudinal

Rango altitudinal (msnm)	Incautaciones	% del total
0 - 500	369	25,71
501 - 1000	595	41,46
1001 - 1500	401	27,94
1501 - 2000	41	2,85
2001 - 2500	19	1,35
2501 - 3000	10	0,69

Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

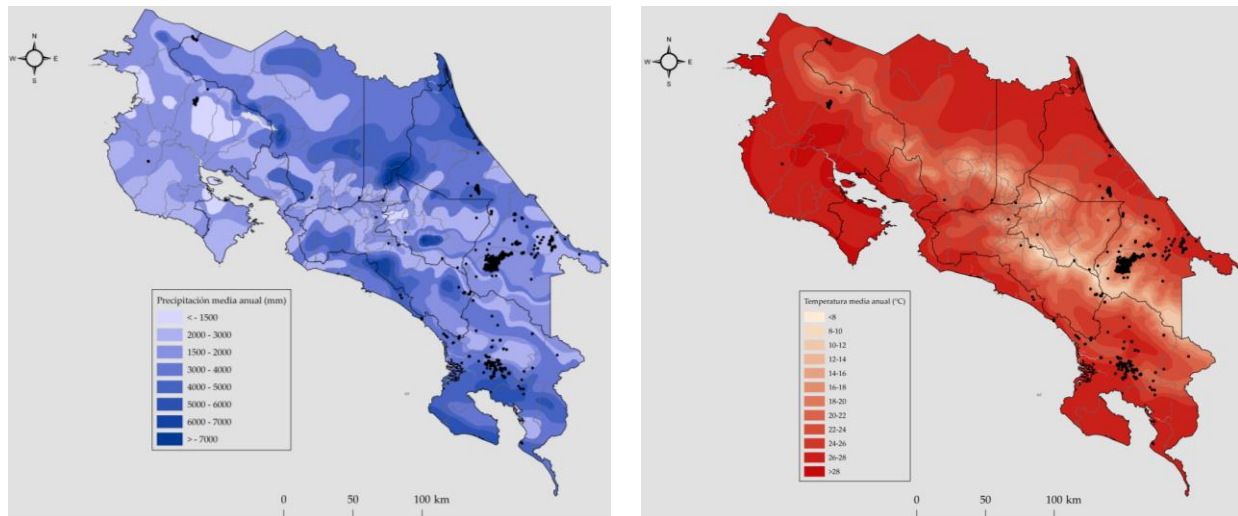
Tal como muestra el cuadro 2, el 95,11% de las plantaciones de marihuana que han sido incautadas en el periodo de estudio se ubican entre los 0 y 1.500 msnm, mientras que después de esta altitud las incautaciones bajan considerablemente su frecuencia.

Precipitación y temperatura

Al igual que en el caso de la altitud, el cultivo de marihuana en Costa Rica se presenta en rangos específicos tanto de precipitación como de temperatura. El mapa 3 presenta la distribución de las incautaciones en relación a ambas variables.

Mapa 3

Incautaciones de marihuana durante el 2007-2018 en relación a la precipitación y temperatura



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

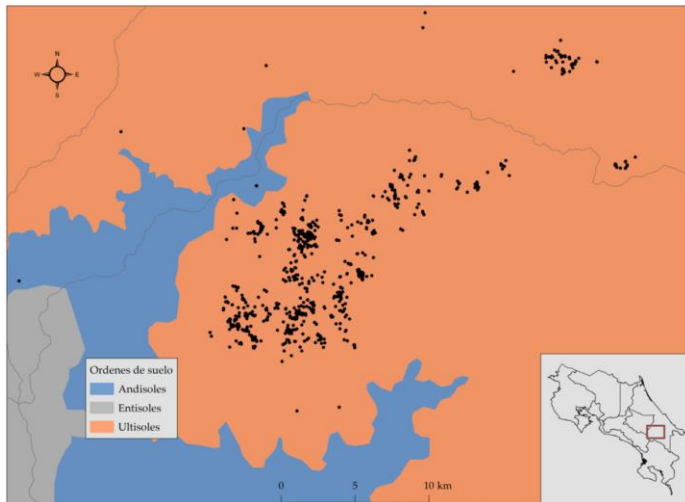
Las incautaciones se ubican en zonas con precipitaciones de 1.500 a 2.000 mm (principalmente en Talamanca) y de 3.000 a 4.000 mm en el resto de puntos. En cuanto a temperatura, el rango oscila entre 20 y 26 °C.

Suelo

La diferenciación climática entre la vertiente Pacífica y Caribe ha producido órdenes de suelo con características diferentes en cada una de ellas. El siguiente mapa muestra las incautaciones junto con los órdenes de suelo de la vertiente Caribe.

Mapa 4

Incautaciones de marihuana en Alta Talamanca durante el 2007-2018 en relación al orden de suelo



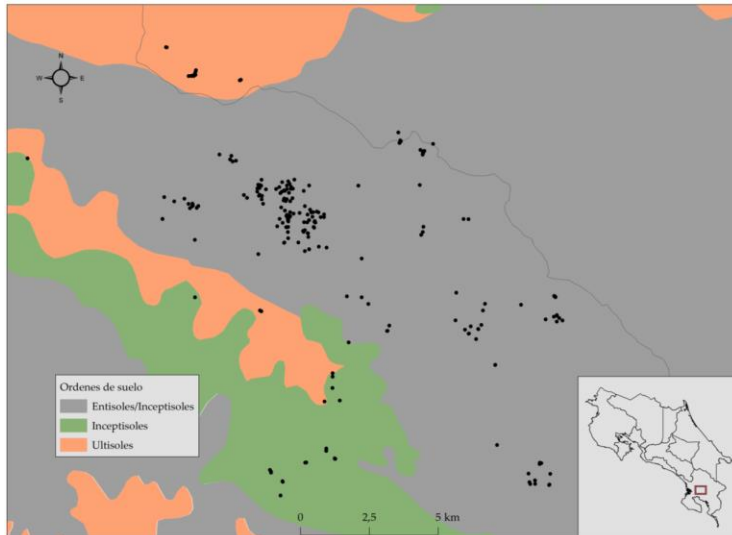
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

En la vertiente Caribe, la mayoría de incautaciones realizadas fueron sobre suelos ultisoles, los cuales se caracterizan por encontrarse en lugares muy húmedos donde existe mucha precipitación, lo que provoca que se laven bases como sodio, potasio, calcio y magnesio (INTA, 2014).

Por el contrario, en la vertiente Pacífica (Mapa 5) los suelos predominantes en las incautaciones fueron entisoles. Estos son suelos poco desarrollados y con problemas de drenaje, por lo que en lugares secos captan eficientemente la humedad (INTA, 2014).

Mapa 5

Incautaciones de marihuana en Osa durante el 2007 – 2018 en relación al orden de suelo



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

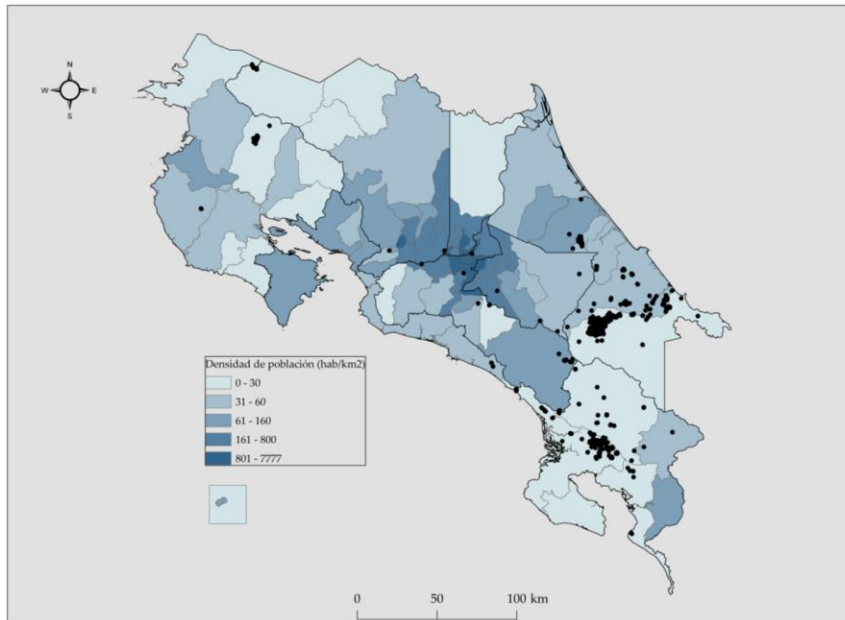
Relación con variables sociodemográficas

Densidad de población

El mapa de densidad de población cantonal (mapa 6) muestra que la gran mayoría de incautaciones están ubicadas en cantones con valores bajos (31 – 60 hab/km²) o muy bajos (0 – 30 hab/km²). De igual manera, se visualiza que la zona con más alta densidad de población, correspondiente al Valle Central, presenta pocos casos aislados.

Mapa 6

Incautaciones de marihuana durante el 2007-2018 en relación a la densidad de población cantonal



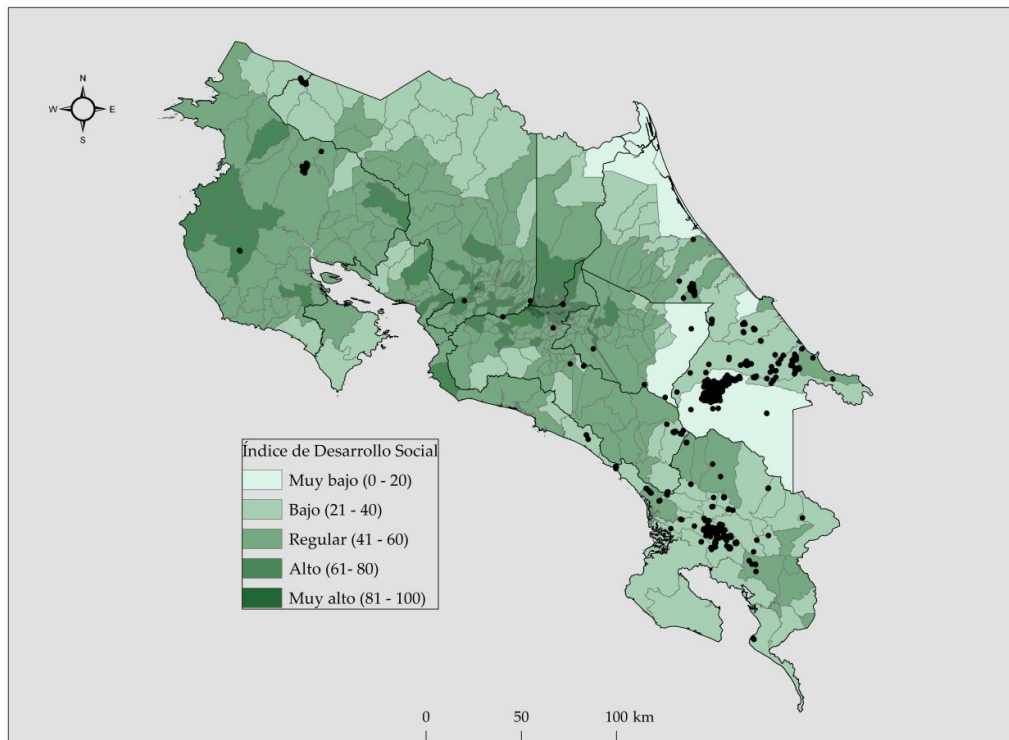
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Índice de Desarrollo Social

El Índice de Desarrollo Social (IDS) tiene como objetivo ordenar los distritos y cantones de Costa Rica según su nivel de desarrollo social, haciendo uso de un conjunto de indicadores que permiten realizar la medición, a partir de los siguientes componentes: económico, educativo, salud seguridad y participación ciudadana.

Mapa 7

Incautaciones de marihuana durante el 2007 – 2018 en relación al Índice de Desarrollo Social



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Siguiendo un patrón similar a la densidad de población, las incautaciones se encuentran en distritos con Índice de Desarrollo Social bajo o muy bajo, a excepción de las ubicadas en el Valle Central y el cantón Bagaces, que tienen un IDS alto.

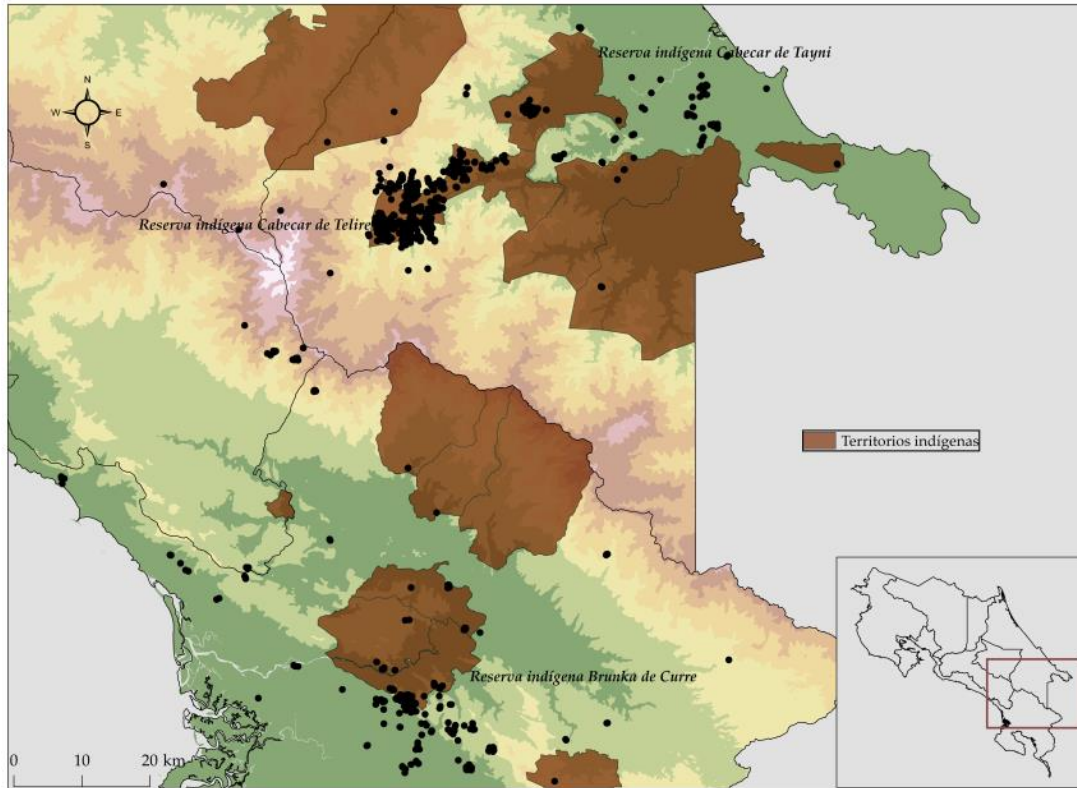
Territorios indígenas

Un alto porcentaje de las incautaciones de marihuana en el período de estudio se encuentran ubicadas en territorios indígenas. A nivel nacional, el 52,51% de los puntos analizados están dentro de estas unidades territoriales, para un total de 5.245.553 plantas erradicadas en 351.749,5 m². Esta área corresponde a 145 canchas de fútbol profesionales.

Esta situación se presenta con mayor intensidad en los cantones Talamanca y Limón, especialmente en las reservas indígenas Cabecar de Telire y Tayni, y en menor medida, en la reserva indígena Brunka de Curre, tal como muestra el siguiente mapa.

Mapa 8

Incautaciones de marihuana durante el 2007-2018 en relación a territorio indígenas en el Sur del país



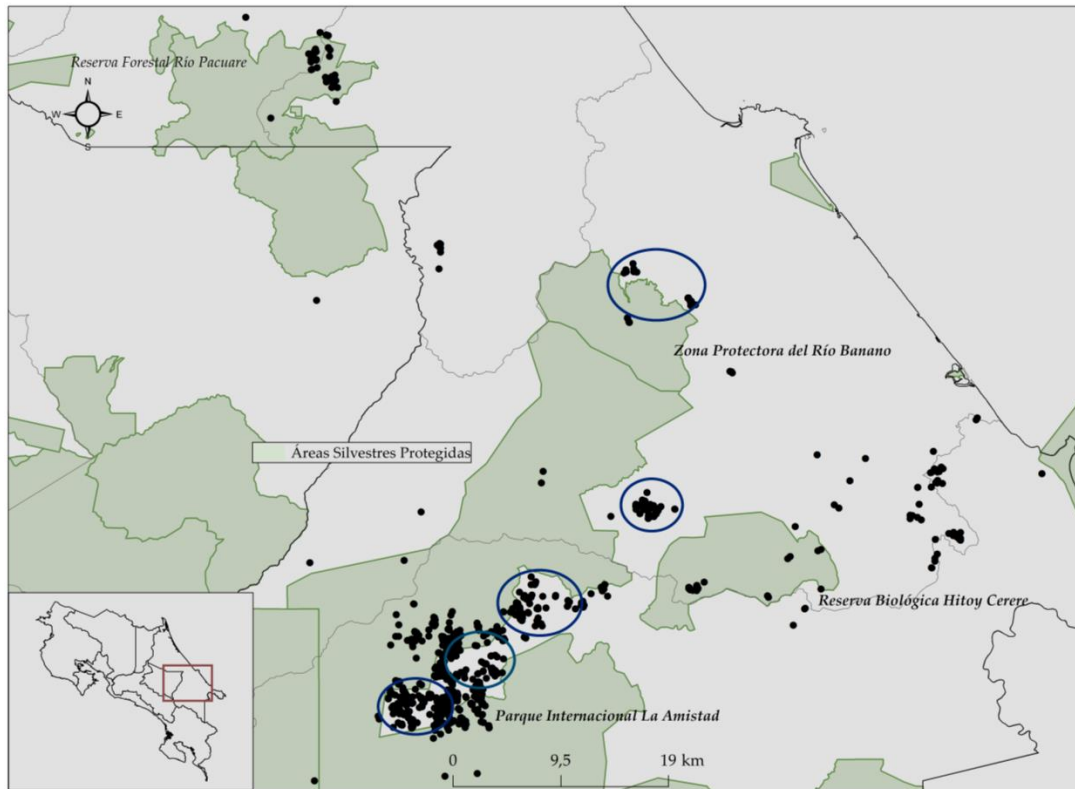
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Áreas Silvestres Protegidas

Las incautaciones de marihuana ubicadas en alguna de las categorías de manejo de Áreas Silvestres Protegidas se concentran en el Sur de la vertiente Caribe del país, específico en la Reserva Forestal Río Pacuare, Zona Protectora del Río Banano, Reserva Biológica Hitoy Cerere y, sobre todo, en el Parque Internacional La Amistad.

Mapa 9

Incautaciones de marihuana durante el 2007-2018 en relación a Áreas Silvestres Protegidas en el Sur del país



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

El 25,23% de todas las incautaciones en el período de estudio se encuentran ubicadas en Áreas Silvestres Protegidas, que se traducen en 5.245.553 plantas erradicadas en 351.749,5 m². Esta área corresponde a 87 canchas de fútbol profesionales. Es importante acotar que hay una importante cantidad de incautaciones que se encuentran alrededor de dichas Áreas Silvestres, que en el mapa 9 se presentan dentro de los círculos azules.

Fase Analítica

Distribución de la marihuana: posibles condicionantes

Acorde a lo analizado en los apartados 2.1 (Aspectos generales del cultivo), 2.3 (Relaciones con variables biofísicas) y 2.4 (Relaciones con variables sociodemográficas), se confirma que existen un conjunto de variables condicionantes que determinan la distribución de las incautaciones de marihuana en Costa Rica. Si bien esta distribución no representa la totalidad de las plantaciones existentes, da una idea bastante concisa sobre donde se puede concentrar el resto.

En cuanto a necesidades fisiológicas, la especie *Cannabis spp* tiene un amplio rango de condiciones biofísicas en las cuales puede producirse de manera eficiente. Sin embargo, a la luz de los resultados mostrados en la fase descriptiva, las incautaciones se encuentran concentradas en cinco zonas.

A lo largo del país, se presentan condiciones de altitud, precipitación y temperatura beneficiosas para el crecimiento de la planta de marihuana, a excepción de altitudes mayores a

2.500 msnm. En cuanto a tipo de suelo, se presenta una variación entre la vertiente Pacífica y Caribe: Las incautaciones en la vertiente Pacífica (generalmente más seca) se encuentran ubicadas en suelos entisoles, caracterizados por retener mejor la humedad; mientras que en la vertiente Caribe existe un patrón muy claro de incautaciones en ultisoles (Mapa 4), que debido a la alta humedad presente en el ambiente lavan algunas bases del suelo como el potasio, que a su vez es un elemento que limita el crecimiento de la planta.

La inclusión de variables sociodemográficas permite explicar con mayor detalle el análisis de la distribución existente. La mayoría de incautaciones analizadas se encuentran en distritos con densidad de población muy baja (0 – 30 hab/km²) y con los valores de IDS más bajos del país (0 - 30). Tomando en cuenta la tabla 1 (Provincias, cantones y distritos con más m² y cantidad de plantas erradicadas), los 5 distritos con más frecuencia de incautaciones tienen como común denominador la dificultad de acceso, la falta de opciones educativas y laborales, una economía deprimida y, de manera general, profundos problemas de equidad e integración social (2018, PEN - CONARE).

Las dificultades citadas, se intensifican en los Territorios Indígenas cercanos a estos distritos, resultando en un profundo problema socio cultural que se comprueba por medio del hecho de que un 52,51% de las incautaciones registradas, están dentro de zonas indígenas.

En menor medida, pero aún con un porcentaje alto, se encuentran las incautaciones ubicadas en Áreas Silvestres Protegidas y en los alrededores de estas, también relacionadas a la dificultad de acceso y ausencia de oportunidades educativas y laborales, a partir de los lugares donde se encuentran.

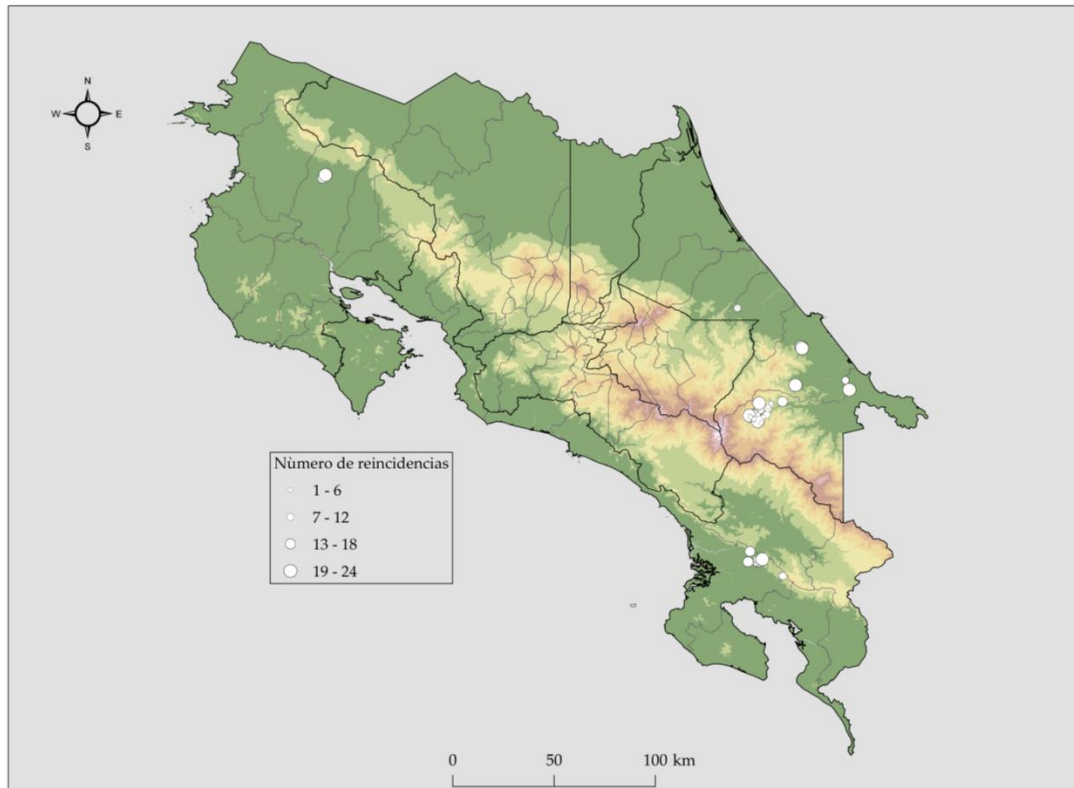
A manera de resumen, las incautaciones se han presentado principalmente en la región Brunca y región Huetar Atlántica, que según el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica son las dos regiones más deprimidas del país, y a la vez, las que presentan mayor cantidad de recursos naturales.

Análisis de reincidencia

Una característica recurrente de la base de datos analizada es la presencia de incautaciones en el mismo lugar donde ya se habían presentado. El siguiente mapa presenta esta situación.

Mapa 10

Número de reincidencias para cada incautación de marihuana durante el 2007-2018



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

A partir del mapa 10, se observa que las incautaciones son más recurrentes en la zona de Talamanca, llegando a presentar hasta 24 incautaciones en el mismo lugar. Las razones de esto deben de ser estudiadas con cuidado, esto podría estar relacionado a la utilización de plantaciones esperando de que no sean descubiertas nuevamente, como plantaciones secundarias mientras que las principales se localizan en otro lugar o simplemente a la naturaleza de los programas de incautaciones por parte del estado donde se concentran recursos en ciertas áreas. Determinar la razón principal escapa a los alcances del presente estudio, pero se deja la duda para que sea analizada con detenimiento.

Independientemente de la reincidencia, el hecho es que se han incautada una gran cantidad de plantas, que de no haber sido así hubiera llegado al mercado de consumo nacional. Se supone que de consumo nacional ya que según expertos la calidad del producto obtenido en la mayoría de este tipo de plantaciones es de medio a bajo. Para poder visualizar cuanto representa esto en términos monetarios se estima la cantidad de onzas que hubiera producido cada planta destruida si hubiera llegado a ser productiva, y si esta conservadoramente hubiera producido 2,5 onzas de producto a un precio de 20.000 a 25.000 colones. Para determinar el precio se hizo consultas de mercado a consumidores. El precio corresponde a un producto de mediana a baja calidad por onza, que es la calidad estimada por los expertos en este tipo de plantaciones. Además, estimando que solo el 75% del producto total se hubiera llegado a aprovechar por circunstancias de plagas o problemas pos-cosecha se obtiene que un total de 30.180.000 onzas al rango de precio en todo el periodo (2007-2018) se obtiene un total de 360.000 millones – 450.000 millones de colones, ya deflactando el precio y trayéndolo a un valor actual.

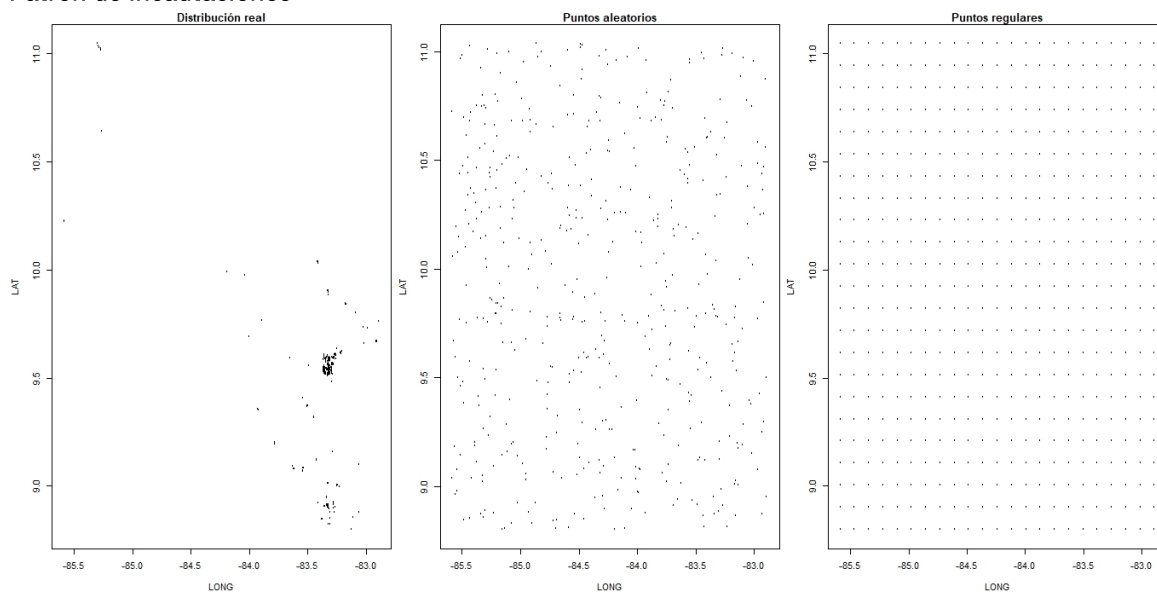
Para poder estimar en que otras posibles áreas se podrían estar cultivando y donde aún no se han realizado incautaciones al momento, se procedió a realizar un modelo predictivo basado en las características arriba descritas.

Fase Predictiva

Autocorrelación de cultivos

Tal y como se describió en los apartados anteriores, existe un patrón no aleatorio de los decomisos de plantaciones de *Cannabis spp.* En el país. Tal y como se muestran en la siguiente figura.

Figura 1
Patrón de incautaciones



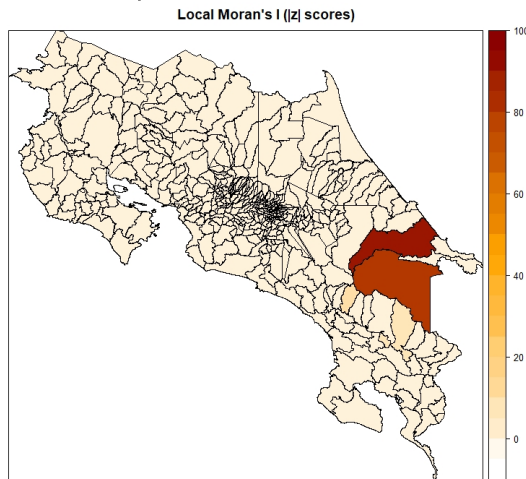
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

La *función G*, mide la distribución de las distancias de cada evento de incautación con respecto de cada otro evento. Se demostró a través del *test Monte Carlo (0,04)* que el proceso de distribución de los puntos sigue un patrón determinado. Dado que existe una alta concentración de puntos en algunas regiones es necesario estimar la correlación espacial que existe entre estos puntos, ya que la probabilidad de que un punto aparezca en un espacio se debe a una correlación de que haya existido un decomiso en ese espacio previamente. Para discernir esto el test de autocorrelación o *test de Moran* lo comprueba estadísticamente.

Abajo en el mapa 11 se muestra el resultado del test de Moran *I* para autocorrelación para los distritos según la cantidad de plantas y la cantidad de metros cuadrados en la incautación de plantaciones de *Cannabis spp.* Los mapas muestran *|z|-scores* del Local Moran test que indica la presencia de “*hot spots*” donde la cantidad de plantas incautadas y la cantidad de metros cuadrados encontrados fue significativamente ($p\text{-value}=0.000$ en ambos tests) mayor a los otros distritos.

Mapa 11

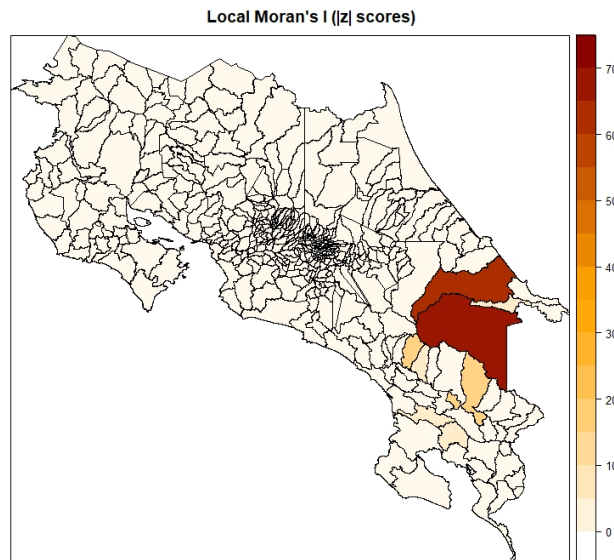
Test de Moran por cantidad de plantas



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Mapa 12

Test de Moran por metros cuadrados



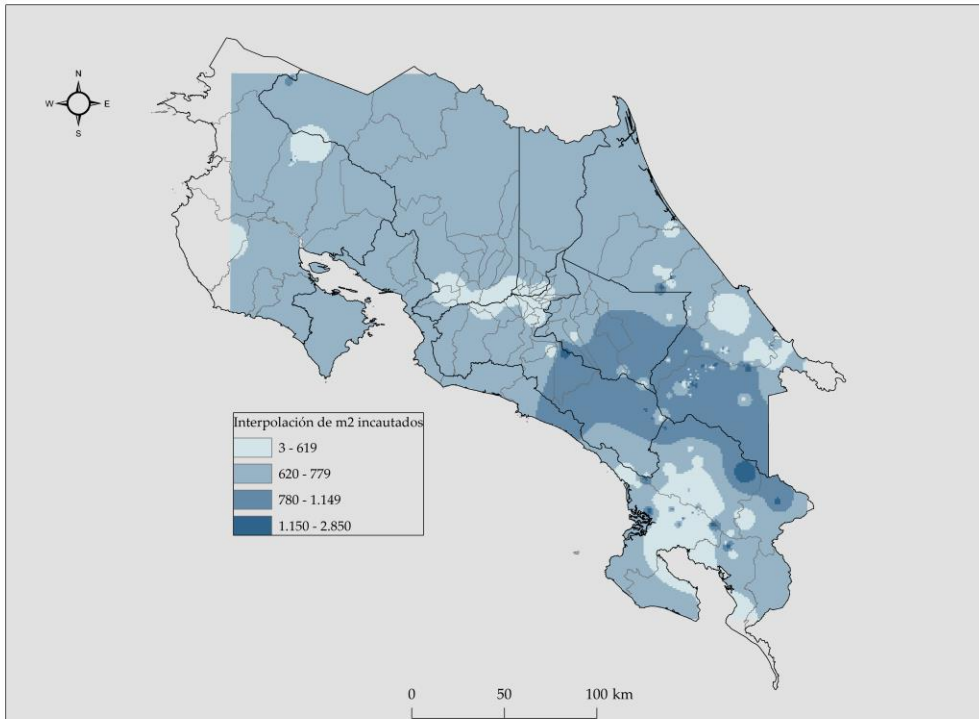
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Como se observa existen 2 hot spots altos y dos hot spots intermedios que concentran las plantaciones en metros cuadrados. A pesar de que en otras partes del país también hay incautaciones, estos son significativamente menores en área y cantidad de plantas en los distritos arriba remarcados. Sin embargo, con esto surge la duda de que otras áreas podrían llegar a ser hotspots o en que otras áreas del país se podría estar cultivando *Cannabis spp.*, o se podría cultivar dadas las condiciones socioeconómicas y biofísicas a pesar de que no haya incautaciones realizadas al año 2018.

Para aproximar estas posibles áreas, un modelo de interpolación IDW de los metros cuadrados cultivados muestra áreas donde es más probable de que lleguen a haber más o menos área dependiendo del área sembrada de plantaciones con cercanía espacial. En zonas alrededor de las áreas donde ya se siembra es probable de que haya aún más área cultivada, dada la distribución de las incautaciones hasta la fecha, estas nuevas áreas corresponde a las áreas más oscuras en el mapa 13.

Mapa 13

Interpolación IDW para los metros cuadrados por incautación



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Modelo Predictivo: Geographically Weighted Regression (GWR)

Después de las secciones anteriores se definió la gran autocorrelación espacial que revisten las plantaciones estudiadas. Además se definieron diferentes posibles detonantes que determinan que en un área geográfica se siembre o no *Cannabis spp.* De este modo se propusieron detonantes socioeconómicos y biofísicos. Los detonantes socioeconómicos se relacionan especialmente a la ausencia de los estados aproximados por el Índice de Desarrollo Social (IDS) en educación, económico y salud. Para poder estimar si estos determinantes realmente pudieran predecir lugares potenciales donde se pudiera sembrar *Cannabis spp.*, se procedió a construir un modelo espacial predictivo que incorporará las principales variables, y así estimar se estos pueden realmente predecir donde existen cultivos.

Primeramente es importante mencionar que espacialmente la autocorrelación se refiere a que una plantación influye en cierta manera que existan otras plantaciones en su cercanía y

viceversa. Por ende, existe un nivel de dependencia entre las observaciones. Sin embargo esta influencia puede disminuir asintóticamente con forme aumenta la distancia entre ellas.

Para realizar una primer exploración de la información espacial, se determinó que un modelo geográficamente ponderado que tomara en cuenta la heterogeneidad espacial que podría existir en Costa Rica referente a los lugares donde se podría o no cultivar *Cannabis spp*. Dado que las variables socioeconómicas existen principalmente dentro de polígonos que forman los distritos del país, se procedió a analizar el modelo utilizando al distrito como unidad de análisis. Para esto el modelo llamado GWR por su nombre en inglés Geographically Weighted Regression fue el que ofreció mejor opciones para un primer ejercicio de modelación predictiva (Seya et al, 2011). De esta forma se incorpora la heterogeneidad espacial de los parámetros estimados (Fotheringham et al., 2014.; Zhukov, 2010). Además los parámetros para cada variable son permitidos que varíen localmente para cada distrito, y así estimar en que distritos hay parámetros más determinantes que otros.

Diferente a un modelo OLS (para este caso de determino alta multicolinealidad) que produce una sola ecuación para efectos globales, el modelo GWR permite este cambio localmente (Mennis, 2006). En otras palabras, la influencia de distritos donde se ha cultivado puede influir en otros distritos que con variables coincidentes pudieran llegar a ser o ya son sembrados. Para estimar el modelo GWR se estima una matriz de vecindad entres los distritos, donde se intuye que distritos que hayan tenido plantaciones en su territorio pueden influir en que distritos vecinos que tengan características socioeconómicas, demográficas y biofísicas similares también lleguen a tener o en efecto las tengan. En esencia el GWR captura donde no hay estacionalidad, o que regresiones localizadas localmente se alejan de valores globales (de una regresión global), reflejando de este modo la variabilidad local (Bivand, 2019).

El modelo GWR re acomoda el modelo de regresion lineal (Zhukov, 2010; Seya, 2011): $y_i = X\beta_i + \epsilon$. Donde i es el distrito donde el parámetro debe de ser estimado. Los parámetros se estiman usando un esquema ponderado: $\beta_i = (X'W_i)^{-1}XW_iy$. Donde el ponderador es W_{ij} , y j is la observación estimada con la función Gaussiana: $W_{ij}=e^{(-d_{ij}/h)^2}$. Donde d_{ij} es la distancia Euclideana entre el distrito i y el distrito j , y h es el ancho de banda. Las variables incluidas en el modelo son las siguientes:

- Variables dependiente: variable dicotómica donde 1 indica la existencia de alguna plantación de *Cannabis spp*. incautada y 0 indica la no existencia.
- Índice de Desarrollo Social (IDS): para el caso de incorporar aspectos socioeconómicos en el modelo, el IDS elaborado por MIDEPLAN es la única herramienta que a nivel de distrito puede reflejar un bajo, medio o alto desarrollo. Se usaron tres partes del IDS el económico, social y educación. Que reflejan la presencia o ausencia del Estado, una de las variables medulares detectadas en la fase descriptiva como detonantes de que se plante *Cannabis spp*. en una determinada localidad.
- Densidad Poblacional: es la cantidad de habitantes por metro cuadrado. Dado que se encontró que donde se realizaron las incautaciones de las plantas era en lugares despoblados o con una densidad poblacional baja, se decidió incluirla en el modelo.
- Tipo de Suelo: se determinó que en 4 tipos de suelo es donde se sembraban las plantas, de estos son dos dominantes entisoles y ultisoles. Esta variable se incorporó como una variable dicotómica, de contar o no con estos tipos de suelo.

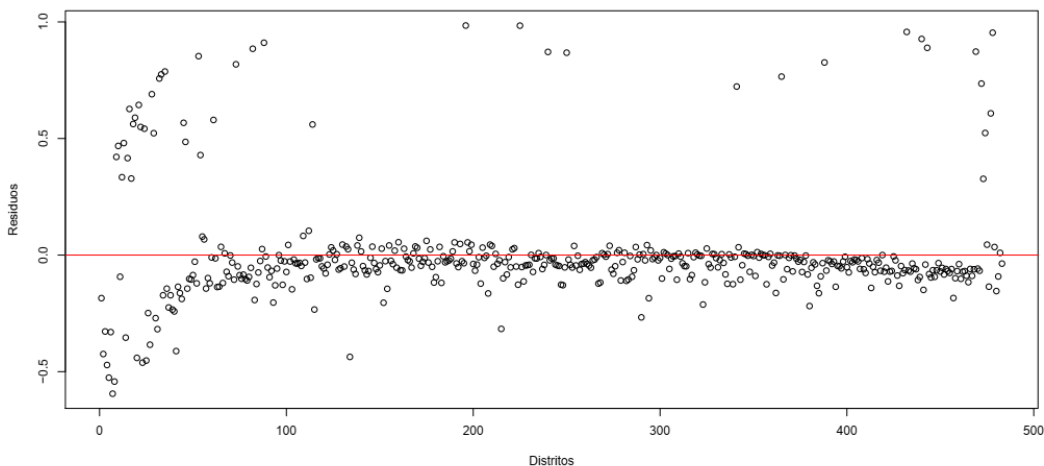
- Precipitación Promedio: esta variable corresponde al promedio en mm de lluvia que cae en el distrito.
- Temperatura: es el rango de temperatura promedio del distrito. Aunque son variables amplias, es una forma de incluir la variable en el modelo.

Una vez aplicado el modelo, el primer resultado obtenido es el comportamiento de los residuos. Los residuos cercanos a zero indican que los valores explicativos del modelo para esos distritos son adecuados, ya que son los valores observados menos lo predicho, por lo que la nube de puntos se ubica cerca de zero, es lo deseado.

Mientras que valores por encima de zero muestran los distritos donde las variables independientes pudieron predecir a la variable dependiente con más que suficiencia, en este caso fueron todos los distritos con alguna plantación en su haber. El valor de residuos positivo indica que las variables se acercaron a explicar la presencia de plantaciones.

Los valores negativos de los residuos son valores donde los distritos están subestimados, donde el valor predicho es menor que el observado. Los valores en este caso no fueron suficientes para predecir la no presencia de plantaciones, dicho de otro modo, se predice que hay plantaciones cuando en realidad no las hay. Por lo que en este caso son distritos que por las características de las variables independientes podrían ser sospechosos de tener o estar vulnerable a tener alguna plantación dentro de su territorio.

Figura 2
Residuos del Modelo GWR



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Los resultados del modelo en el cuadro 3, indican que las plantaciones están espacialmente agrupadas formando clusters de cultivo (Std. Dv Moran significativo) en distritos. Por lo que contando por la heterogeneidad espacial el Anova confirma la significancia estadística de esta heterogeneidad. El alto valor F de los residuos confirma que el modelo logró tener un valor predictivo alto.

El modelo GWR es una opción fidedigna para representar los parámetros. Los parámetros tienen un mínimo y máximo en todos los de distritos. Para cada distrito existe un modelo que indica que tanto explica el parámetro de la variable. El global indica el valor del parámetro como si fuera una regresión lineal solo global y no por distrito. En este caso casi todas las variables serían significativas al 5%. Sin embargo al igual que el R2 quasi global, estos varían para cada distrito al ser una regresión independiente. Más abajo se mostrara como los valores de los parámetros se distribuyen espacialmente, y donde lo importantes es que el error estandarizado sea bajo.

Cuadro 3
Resumen del Modelo GWR

Variables	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.	Global	Error Estandarizado Promedio
Intercepto	-7.8030e-02	-5.2868e-02	-2.1249e-02	7.9558e-03	1.9007e-01	0.0095	0.1437
IDS Económico	-1.7898e-03	9.8811e-05	1.2619e-04	2.0131e-04	1.1654e-03	0.0004	0.0010470
IDS Salud	-1.4640e-03	1.2499e-04	1.6993e-04	2.1968e-04	4.5443e-03	0.0002	0.0010505
IDS Educación	-1.0879e-02	-2.7152e-03	-1.8609e-03	-8.0609e-04	1.0383e-03	-0.0006	0.001150
Temperatura 20-22	-3.4127e-02	1.5625e-03	2.4446e-02	4.2645e-02	1.9893e-01	0.0637	0.1228
Temperatura 22-24	1.9757e-02	1.0383e-01	1.4659e-01	1.7969e-01	4.6755e-01	0.2536	0.1288
Temperatura 24-26	2.6673e-02	3.6086e-02	4.7731e-02	6.5069e-02	4.1314e-01	0.0978	0.1196
Temperatura 26-28	2.1646e-02	3.0743e-02	4.6450e-02	6.8902e-02	3.5921e-01	0.0675	0.1166
Suelo	-9.7142e-03	1.4676e-02	1.5771e-02	1.6230e-02	4.2995e-02	0.0363	0.03113
Precipitación promedio	1.6982e-05	3.2508e-05	4.3143e-05	4.9386e-05	8.6610e-05	0.0001	2.079e-05
Densidad poblacional	5.8936e-09	1.0801e-08	1.1782e-08	1.3370e-08	1.7257e-08	0.0000	2.333e-09
Moran Iresiduos							0.1401173602
Moran desviación Std.							0.0007345069 ***
Ancho de Banda							84970.94 metros
N							483
GWR Residuos							Valor F: 7.4025
Quasi Global R2							0.35

ANOVA

F = 1.2547, p-value = 0.007705 ***

***p <= 0.01

Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

El modelo predijo cerca del 93% de los distritos donde ha habido plantaciones incautadas, colores rojo y rojo oscuro en el mapa 14. El color blanco es el caso donde se predijo el no haber, en este caso hay tres casos donde si había y no se pudieron predecir, como lo son los casos del distrito Matama en Limón, donde el IDS salud es 70 y esto pudo disminuir la probabilidad de coincidencia entre el modelo observado y el predictivo. Otro caso es el de la trinidad de Moravia, con valores del IDS también medios. Y por último el caso de Chirripó donde las bajas temperaturas desvían el promedio y hacen al distrito como un todo poco apto para el cultivo, en este caso solo hay dos casos de plantaciones encontradas. Los colores amarillo y anaranjado son distritos subestimados, por sus valores que al no predecir la no presencia estarían sugiriendo una posible probabilidad de que existan plantaciones o una vulnerabilidad de que lleguen a existir dadas las variables del modelo. En total se identificaron 89 distritos con vulnerabilidad de tener o llegar a tener plantaciones dadas sus determinantes socio ambientales. Estos se ubicarían: 2 en Pacífico-Zona Norte, 14 en Caribe Norte, 4 en Caribe Sur, 18 entre el centro del país y el Caribe, 12 en el centro del país, 29 en el Pacífico Central, y 12 en el Pacífico Sur.

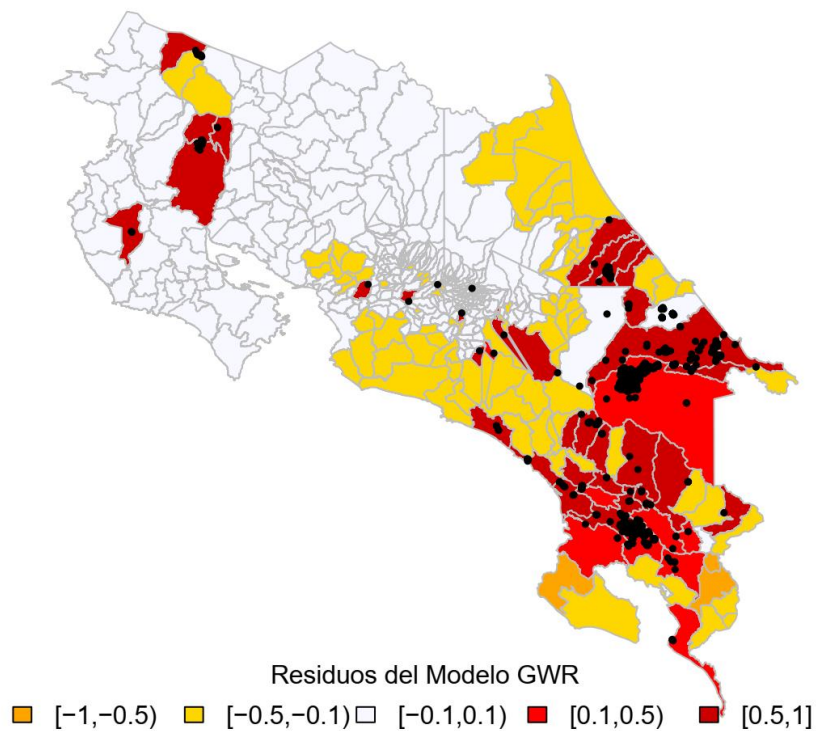
Comportamiento de los Coeficientes y Errores Estandarizados

Los parámetros de cada variable tienen una capacidad predictiva diferente para cada distrito. Por esta forma también se puede interpretar cada parámetro y su influencia en cada distrito o región. A continuación, se presentan los coeficientes y sus respectivos errores estandarizados a nivel de distrito de las variables más influyentes en el modelo.

- IDS en educación: mostrado en el mapa 15, el coeficiente en verde y negativo indica la relación con la existencia de plantaciones de *Cannabis spp.* en el distrito. Conforme menor el valor del IDS en educación, aumenta la cantidad de distritos con plantaciones. Como lo muestra el mapa 15, los errores estandarizados son cercanos a zero y bajos casi que para todos los distritos.
- Precipitación Promedio: los coeficientes positivos de la precipitación promedio muestra la relación positiva con la posibilidad de encontrar plantaciones en los distritos, mayor lluvia es deseada para poder producir por los requerimientos fisiológicos de la planta. Los errores estandarizados muestran que en diferentes zonas del país el error del coeficiente está más cerca o lejos de zero, pueden ser más o menos eficientes en los diferentes distritos para estimar la relación entre precipitación y su relación con encontrar o no plantaciones, esta relación no es homogénea a lo largo del país. Ver mapa 16.
- Temperatura por rangos: una variable determinantes de la planta de *Cannabis spp.* es la temperatura, a temperaturas más frías la productividad de la planta se puede ver comprometida. Se analizaron rangos de temperatura desde 0 grados C. hasta 28 grados C, la tabla completa se puede observar en el anexo 1. Para el caso del rango de temperatura entre 26-28 grados se determina que hay distritos donde temperaturas

promedio dentro de este rango se relacionan positivamente a la presencia de plantaciones en su territorio, tal y como lo muestra el mapa 17, con los distritos de color rojo oscuro y rojo. Los errores estandarizados de este parámetro se muestra en el mapa seguido del mapa de coeficientes, para el caso de esta variable fue bastante homogéneo en todo el país.

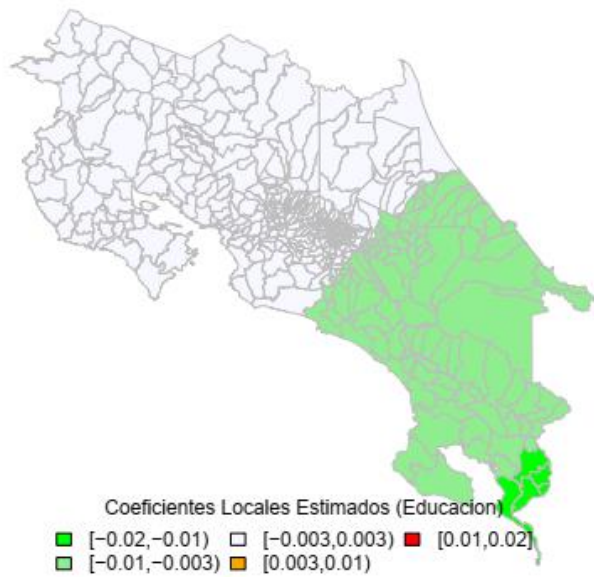
Mapa 14
Predicción contra valores observados



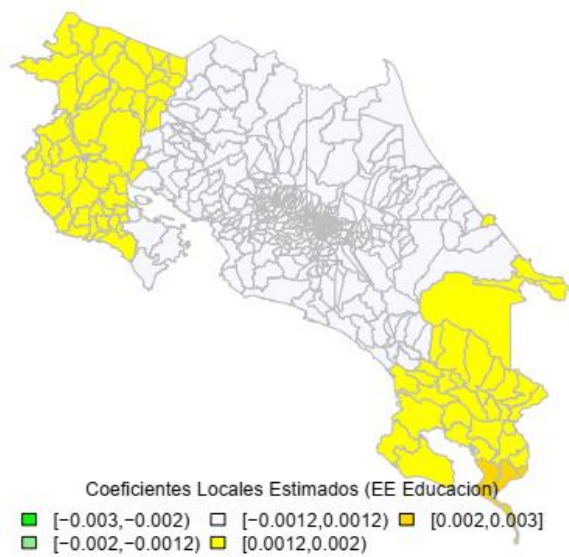
Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Mapa 15
Índice de Desarrollo Social (IDS): Educación

IDS Educación

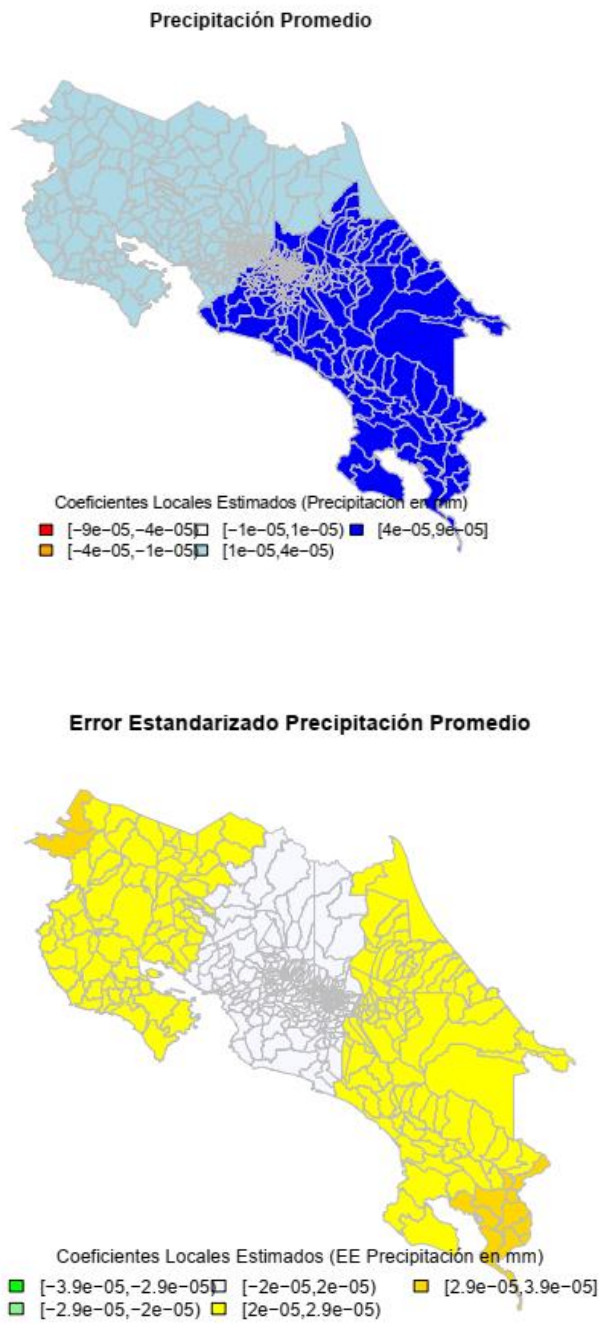


Error Estandarizado IDS Educación



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Mapa 16
Precipitación promedio por distrito

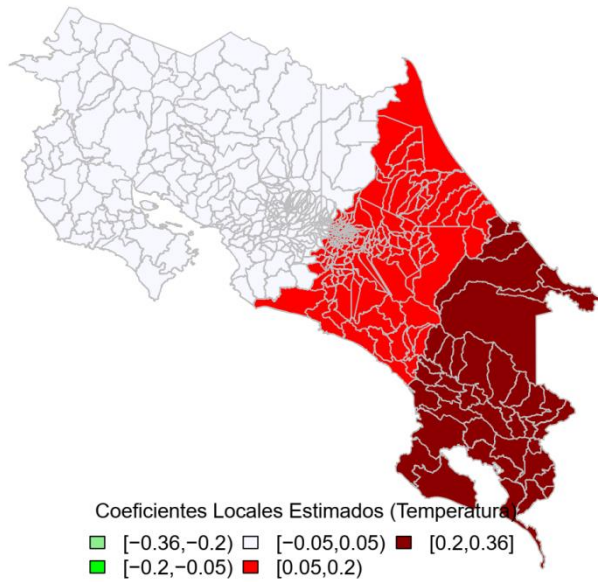


Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

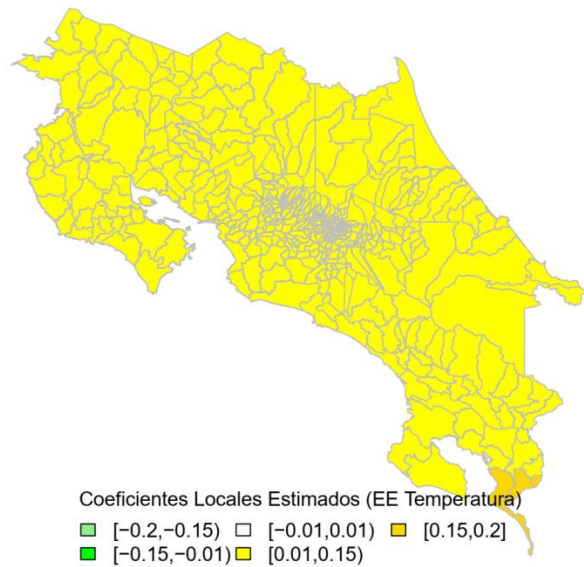
Mapa 17

Rango de temperatura promedio 26-28 grados centígrados

Temperatura 26-28 grados



Error Estandarizado Temperatura 26-28 grados



Fuente: elaboración propia con datos del ICD.

Bibliografía

- Bivand, Roger; Pebesba, Edzer y Gómez-Rubio, Virgilio. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R*. Springer. New York.
- Brindis, Fernando. (2015). Cannabis sativa, una planta singular. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 45.
- Castro, J. (2016). Alternativas jurídicas a la política anti-drogas costarricense en materia de cannabis. Enfoque a partir del estudio histórico y del derecho comparado. (Informe del Proyecto Final de Graduación de Licenciatura en Derecho). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Fassio, Alberto. (2013). *Cáñamo (Cannabis sativa L.)*. Uruguay, Montevideo: INIA.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2014). Suelos de Costa Rica, Orden ultisol. *Boletín Técnico 1*.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2014). Suelos de Costa Rica, Orden entisol. *Boletín Técnico 2*.
- Lu, Binbin.; Charlton, Martin; Harris, Paul y Fotheringham, Steward. (2014). Geographically weighted regression with a non-Euclidean distance metric: a case study using hedonic house price data. *International Journal of Geographical Information Science*. DOI: 10.1080/13658816.2013.865739.
- Mennis, Jeremy. (2006). Mapping the Results of Geographically Weighted Regression. *The Cartographic Journal* 43(2): pp: 171-179.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2019). Recuperado de <https://www.mideplan.go.cr/indice-desarrollo-social>.
- Netzahualcoyotzi, Citlalli. (2009). La marihuana y el sistema endocanabinoide: De sus efectos recreativos a la terapéutica. *Revista Biomédica* 20, pp. 128-153.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito UNODC. (2018). *Resumen – Informe Mundial Sobre las Drogas 2018*.
- Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. (2018). *Informe estado de la nación 2018*. Costa Rica, San José: Servicios Gráficos AC.
- Seya, Hajime; Tsutsumi, Morito; Yoshida, Yasushi y Kawaguchi, Yuichiro. (2011). Empirical Comparison of the Various Spatial Prediction Models: in Spatial Econometrics, Spatial Statistics, and Semiparametric Statistics. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 21: pp: 120-129.
- Van der Werf, Hayo. (1994). *Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.)*. Estados Unidos, Charlotte: AB-DLO.
- Zhukov, Yuri. (2010). *Applied Spatial Statistics in R*. IQSS, Harvard University.

Anexos

Anexo 1

Variables	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.	Global
Intercepto	-7.8030e-02	-5.2868e-02	-2.1249e-02	7.9558e-03	1.9007e-01	0.0095
IDS Económico	-1.7898e-03	9.8811e-05	1.2619e-04	2.0131e-04	1.1654e-03	0.0004
IDS Salud	-1.4640e-03	1.2499e-04	1.6993e-04	2.1968e-04	4.5443e-03	0.0002
IDS Educación	-1.0879e-02	-2.7152e-03	-1.8609e-03	-8.0609e-04	1.0383e-03	- 0.0036
Temperatura 0	4.7317e-02	7.9591e-02	1.0818e-01	1.3448e-01	7.5904e-01	0.2406
Temperatura 10-12	-4.6442e-02	-2.5093e-02	-2.2512e-02	-1.8030e-02	2.2890e-01	0.0064
Temperatura 12-14	-4.8731e-02	-3.2460e-02	-2.8101e-02	-2.2191e-02	2.2276e-01	- 0.0012
Temperatura 14-16	4.0630e-01	5.1056e-01	5.3217e-01	5.5333e-01	9.0786e-01	0.5863
Temperatura 16-18	-3.7838e-02	-2.3381e-02	-1.4562e-02	-4.0629e-03	2.4460e-01	0.0102
Temperatura 18-20	-7.6597e-03	4.4522e-02	7.3064e-02	9.5582e-02	3.4465e-01	0.1189
Temperatura 20-22	-3.4127e-02	1.5625e-03	2.4446e-02	4.2645e-02	1.9893e-01	0.0637
Temperatura 22-24	1.9757e-02	1.0383e-01	1.4659e-01	1.7969e-01	4.6755e-01	0.2536
Temperatura 24-26	2.6673e-02	3.6086e-02	4.7731e-02	6.5069e-02	4.1314e-01	0.0978
Temperatura 26-28	2.1646e-02	3.0743e-02	4.6450e-02	6.8902e-02	3.5921e-01	0.0675
Suelo	-9.7142e-03	1.4676e-02	1.5771e-02	1.6230e-02	4.2995e-02	0.0363
Precipitación promedio	1.6982e-05	3.2508e-05	4.3143e-05	4.9386e-05	8.6610e-05	0.0001
Densidad poblacional	5.8936e-09	1.0801e-08	1.1782e-08	1.3370e-08	1.7257e-08	0.0000