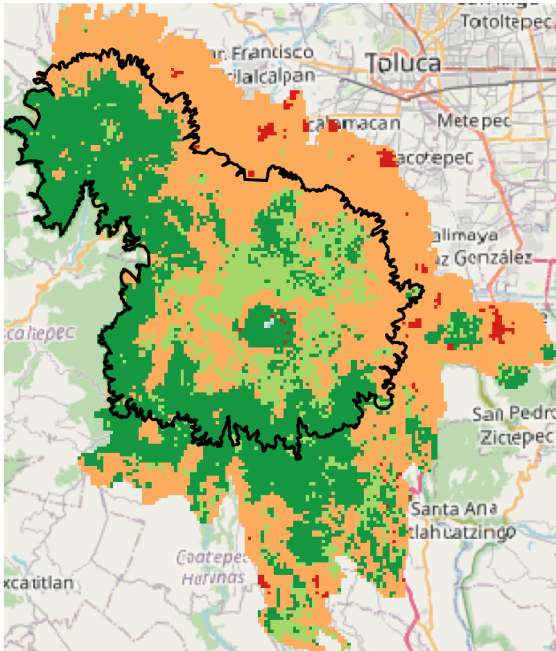
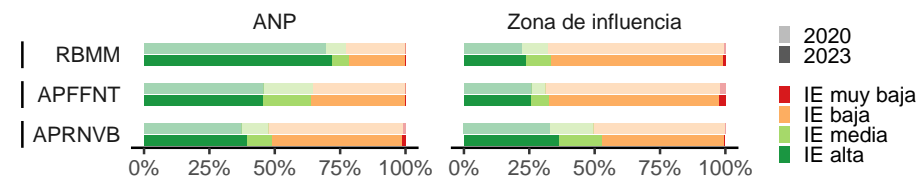


Diagnóstico de Integridad Ecosistémica (IE) en el ANP Nevado de Toluca y su complejo

Año: 2023



Integridad Ecosistémica



| | |
|--------|--|
| APFFNT | Nevado de Toluca |
| APRNVB | Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec |
| RBMM | Mariposa Monarca |



Estado de la Integridad Ecosistémica (EIE)

| ANP | EIE | Conservación | Criterio |
|--------|-----|--------------|---------------------|
| APFFNT | = | Baja | <25% de IE_{alta} |
| APRNVB | ↑ | Media | 25% a 50% |
| RBMM | ↑ | Alta | 50% a 75% |
| | | Muy alta | >75% |

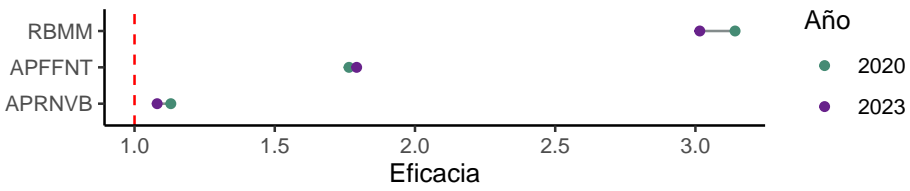
EIE_{2023} de APFFNT: **Conservación media** igual que el periodo anterior.

Table 1: Estado de la Integridad Ecosistémica

| año | APFFNT | APRNVB | RBMM |
|------|--------|--------|-------|
| 2020 | 45.8% | 37.2% | 69.6% |
| 2023 | 45.9% | 39.4% | 71.8% |



Eficacia en la protección de la Integridad Ecosistémica (Ef_{IE}) del ANP



$Ef_{IE,2023}$ de APFFNT: **Eficacia parcial** igual que el periodo anterior.

| ANP | Eficacia | Eficacia | Criterio |
|--------|----------|---------------|---------------|
| APFFNT | = | Sin eficacia | $Ef_{IE} < 1$ |
| APRNVB | = | Parcial | 1 a 2 |
| RBMM | = | Alta | 2 a 3 |
| | | Sobresaliente | >3 |

Table 2: Eficacia

| año | APFFNT | APRNVB | RBMM |
|------|--------|--------|------|
| 2020 | 1.8 | 1.1 | 3.1 |
| 2023 | 1.8 | 1.1 | 3 |



Presión de la Zona de Influencia (P)

| ANP | Presión | Presión | Criterio |
|--------|---------|----------|----------------------------|
| APFFNT | = | Baja | <25% sin IE_{alta} en ZI |
| APRNVB | ↓ | Moderada | 25% a 50% |
| RBMM | ↓ | Alta | 50% a 75% |
| | | Muy alta | >75% |

P_{2023} de APFFNT: Presión alta igual que el periodo anterior.

Table 3: Presión de la Zona de Influencia

| año | APFFNT | APRNVB | RBMM |
|------|--------|--------|-------|
| 2020 | 74.1% | 67.1% | 77.8% |
| 2023 | 74.4% | 63.5% | 76.2% |

Referencia con otros complejos regionales

| Complejo | Estado IE | Eficacia | Presión |
|---------------------------|-----------|----------|---------|
| Complejo Chichinautzin | ↓ | = | ↑ |
| Complejo Ciénegas | ↓ | = | = |
| Complejo Mariposa Monarca | ↑ | = | ↓ |
| Complejo Selvas Secas | ↓ | = | ↑ |
| Complejo Sierra Gorda | ↑ | = | = |
| Complejo Sierra Nevada | = | = | ↓ |

El Complejo Mariposa Monarca tiene:

- EIE_{2023} : Conservación media en incremento.
- $Ef_{IE,2023}$: Eficacia parcial igual que el periodo anterior.
- P_{2023} : Presión alta en decremento.

SÍNTESIS

El ANP Nevado de Toluca presenta un estado de Conservación media, Eficacia parcial y Presión alta. Esto significa que hay un grado de preocupación alto en el ANP, por lo que se recomienda alcanzar un estado de Conservación muy alta y mantener el monitoreo del estado de IE del ANP y su Zona de Influencia (ZI).

Dado el estado de conservación de la IE en el ANP y la tendencia descrita entre el 2020 y 2023, es deseable que la tendencia en el estado de la Conservación cambie a mantenerse en aumento y la tendencia de la eficacia cambie a mantenerse en aumento. Las otras ANP del complejo presentan una Eficacia parcial, es decir que son igualmente eficaces que el ANP Nevado de Toluca, por lo que las acciones dentro de ésta muestran ser similares a las realizadas en las ANP que pertenecen al mismo complejo.

IMPORTANTE

Para comprender el estado de una ANP es importante considerar los tres indicadores en conjunto, tanto el Estado de Integridad Ecosistémica y Eficacia del ANP, como la Presión que sufre el ANP en su ZI, así como revisar el estado de las ANP aledañas en el mismo complejo pues son comparables por estar localizadas en la misma zona bajo impactos antropogénicos y condiciones económicas y sociales similares.

CÁLCULO DE INDICADORES

Estado de la Integridad Ecosistémica del ANP

El indicador del Estado de la Integridad Ecosistémica (EIE) del ANP es el porcentaje del total del área que ocupa la clase de Integridad Ecosistémica alta (IE_{alta}), es decir:

$$EIE = \%IE_{alta}(ANP)$$

Un porcentaje deseable de IE en una ANP es tener 100% de su superficie geográfica con clase IE_{alta} .

Eficacia en la protección de la Integridad Ecosistémica

“La eficacia es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.” (RAE)

En el caso de las ANP, la eficacia en la protección de la IE la entenderemos como la capacidad de realizar acciones de manejo, restauración y conservación en el ANP con el fin específico de proteger y mantener alto el porcentaje de área con Integridad Ecosistémica alta. La eficacia es calculada tomando como referencia el porcentaje de IE alta que tiene la zona de influencia (ZI), esta zona al no estar protegida se esperaría que tenga menor porcentaje de área con IE alta que lo que hay dentro de la ANP.

El valor de la eficacia en la protección de la IE (Ef_{IE}) del ANP, se calcula como el cociente del porcentaje de IE alta dentro del ANP ($\%IE_{alta}(ANP)$) entre el porcentaje de IE alta en el área de la Zona de Influencia ($\%IE_{alta}(ZI)$), es decir:

$$Ef_{IE} = \frac{\%IE_{alta}(ANP)}{\%IE_{alta}(ZI)}$$

El indicador de eficacia representa el número de veces que hay de porcentaje de IE alta dentro del ANP con respecto a lo que hay afuera de ella, por lo que nos informa sobre el efecto de las acciones logradas en la IE. Un valor de 1 significa condiciones similares dentro y fuera del ANP (es decir igual proporción de área de IE alta) y <1 significa una mejor condición afuera del ANP que adentro, por lo que en ambos casos no parecen ser relevantes las acciones de manejo del ANP. En contraste, obtener valores arriba de 1 indica una mejor condición adentro del ANP que afuera, por lo que indica un manejo adecuado y eficaz dada la condición y presión existente en el ANP.

Presión de la Zona de Influencia

Definimos la Presión (P) de la Zona de Influencia (ZI) como el porcentaje del total del área que no tiene IE alta en la Zona de Influencia (ZI), es decir:

$$P = 100\% - \%IE_{alta}(ZI)$$

El porcentaje de IE_{alta} en la ZI nos indica el grado de presión existente en el territorio alrededor de la ANP, si éste es bajo la presión es mayor.

DEFINICIONES Y MÉTODO

Integridad Ecosistémica

La Integridad Ecosistémica (IE) se refiere a qué tan completo, funcional o intacto es un ecosistema respecto a su estado natural (Wildlife Conservation Society 2020).

La integridad más alta la alcanzan las áreas no afectadas de manera significativa por actividades humanas, las cuales son fundamentales para la conservación de la biodiversidad, pues es en ecosistemas con alta integridad que las especies tienen menor riesgo de extinción (Di Marco et al. 2019). Además, estas áreas contribuyen en mayor medida, respecto a áreas degradadas, a los servicios ecológicos, como la absorción de CO_2 , el suministro de agua y protección de riesgos causados por el cambio climático (Watson et al. 2018; Martin and Watson 2016). Por lo tanto, es de gran importancia, medir y monitorear la IE para preservar áreas con alta integridad y restaurar áreas de baja integridad.

Índice de Integridad Ecosistémica

El Índice de Integridad Ecosistémica (IIE) informa sobre el grado de conservación de la estructura y función de la vegetación en el tiempo con respecto a la vegetación primaria para informar de la condición de los ecosistemas con base a la intensidad de cambio en la cobertura vegetal.

Método del cálculo del Índice de Integridad Ecosistémica

El IIE se basa en la variable *hemerobia*, cuya clasificación originalmente consta de 18 clases (Equihua et al 2018). Ésta fue actualizada dado los cambios en la nomenclatura de las clases de vegetación y cuerpos de agua de la Serie VII de INEGI, cuyo mapa es comparado con el de vegetación primaria para obtener el IIE.

Para la mejor comprensión de los estados de IE y efectividad las 16 clases resultantes, se recategorizaron en 4: IE_{alta} , IE_{media} , IE_{baja} , $IE_{muybaja}$ (CONABIO, 2025).

La clase alta (IE_{alta}) representa a la vegetación natural (primaria) remanente en el país representada por las clases 0 a la 4 de la *hemerobia*. Ésta es tomada como referencia para estimar los indicadores de estado, presión y eficacia.

Modelo Para estimar el IIE de diferentes años, se usa un modelo *XGBoost* (refuerzo del gradiente extremo), el cual es un método de aprendizaje automático supervisado para clasificación, que mediante variables predictoras estima el valor del IIE para el año deseado.

Variables predictoras Cobertura del suelo (MODIS, NASA LP DAAC), productividad primaria bruta (fotosíntesis), estructura de la vegetación (radar Sentinel-1), elevación, zonas de vida de Holdridge y distancia al borde. Resolución: 250x250m

Validación Fauna indicadora clave (SiPeCaM).

Referencia

Di Marco, Moreno, Simon Ferrier, Tom D Harwood, Andrew J Hoskins, and James EM Watson. 2019. "Wilderness Areas Halve the Extinction Risk of Terrestrial Biodiversity." *Nature* 573 (7775): 582–85.

Martin, Tara G, and James EM Watson. 2016. "Intact Ecosystems Provide Best Defence Against Climate Change." *Nature Climate Change* 6 (2): 122–24.

Watson, James EM, Tom Evans, Oscar Venter, Brooke Williams, Ayesha Tulloch, Claire Stewart, Ian Thompson, et al. 2018. "The Exceptional Value of Intact Forest Ecosystems." *Nature Ecology & Evolution*.

Plataforma de condición de las Áreas Naturales Protegidas: Integridad Ecosistémica 2020- 2023-2027. COSMOS. https://karensanchez.shinyapps.io/iie_anps

Sánchez et al. Modelo de clasificación de Integridad Ecosistémica. CONABIO. 2025 https://github.com/CONABIO/ie_model