

## Informe final\* del Proyecto QE006

### Evaluación del estado de conservación, amenazas y comercio internacional de las especies del género *Ctenosaura* bajo los criterios de la Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17) de la CITES\*

<b>Responsable:</b>	Dr. Víctor Hugo Reynoso
<b>Institución:</b>	Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
<b>Dirección:</b>	Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México
<b>Correo electrónico:</b>	vrey noso@ib.unam.mx
<b>Teléfono:</b>	55 5622 9153 y 55 5622 8222 ext. 47865
<b>Fecha de inicio:</b>	15 de Noviembre de 2018
<b>Fecha de término:</b>	16 de Junio de 2021
<b>Principales resultados:</b>	Informe final, Cartografía, Fichas.
<b>Forma de citar** el informe final y otros resultados:</b>	Reynoso, V. H., Vázquez-Cruz, M. L., y Arroyo-Rivera C. R. 2021. Evaluación del estado de conservación, amenazas y comercio internacional de las especies del género <i>Ctenosaura</i> bajo los criterios de la Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17) de la CITES. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. QE006. Ciudad de México

#### Resumen:

Debido a la falta de información para la correcta normatividad de las especies, resulta fundamental realizar estudios sobre las amenazas y riesgos que corren las especies de nuestro país a fin de establecer las pautas necesarias para su manejo y las normas necesarias para su protección. Realizar la evaluación sobre la pertinencia de incluir especies que se encuentran en riesgo en el apéndice II de CITES es primordial para evitar que su comercio internacional las amenace o las coloque en peligro de extinción.

Las iguanas del género *Ctenosaura* pertenecen a la familia Iguanidae. Este género está conformado por 18 especies nativas de México y América Central de las cuales 10 son endémicas a México. Las especies del género *Ctenosaura* poseen escamas espinosas y quilladas distintivas en sus largas colas, una característica que las ha hecho atractivas para su comercialización. Tienen alta demanda dentro del comercio internacional de mascotas exóticas debido a su rareza, tamaño y su relativa docilidad. Sin embargo, las poblaciones silvestres han experimentado grandes disminuciones y sus rangos geográficos son altamente restrictivos. Sólo cuatro de las 18 especies de *Ctenosaura* se incluyeron en el Apéndice II en la CoP 15 en Doha, Qatar, 2010 (*C. bakeri*, *C. oedirhina*, *C. melanosterna* y *C. palearis*) para regular el comercio internacional y combatir su tráfico ilegal.

Existe comercio internacional legal para varias especies y el tráfico ilegal ocurre para la mayoría, si no es que para todas las especies del género. Mientras que existen guías de identificación para iguanas de cola espinosa, la identificación es bastante difícil para personas no profesionales e incluso para los expertos. Esto constituye un problema para los oficiales de aduanas y de aplicación de la ley para cumplir correctamente con la inspección e identificación de cargamentos de iguanas, pudiendo existir confusión en la determinación de cuales especies se indican en permisos y cuales se están traficando en realidad.

Incluir al género completo en el Apéndice II sería esencial para controlar el comercio internacional y asegurar que éste no se convierta en una causa directa de la extinción de estas especies y al mismo tiempo funcionaría como una valiosa herramienta para combatir el tráfico ilegal de iguanas en peligro crítico.

Es necesario realizar una evaluación exhaustiva y actualizada sobre los registros del comercio y tráfico nacional e internacional, así como las principales amenazas y riesgos que presentan las especies del género *Ctenosaura*. Toda esta información brindará el soporte suficiente para determinar si es pertinente incluir a todas las especies del género en el Apéndice II de CITES y de proponer o mantener un cambio de estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en la IUCN.

Nuestro laboratorio ha trabajado por más de 20 años con especies de la familia Iguanidae, por lo que se tiene suficiente experiencia en relación al grupo en cuestión. Se han llevado a cabo diversos temas de investigación para las especies del género *Ctenosaura* y se cuenta con algunos datos poblacionales, de distribución y de conservación, entre otros. Por otra parte, el responsable de proyecto ha participado en la evaluación de especies de otros reptiles importantes mediante el uso de las fichas MER y los criterios de evaluación de la IUCN, también ha participado intensivamente en los programas de evaluación de iguanas y cocodrilos ante CITES.

Consideramos esta propuesta una oportunidad idónea para trabajar en conjunto con CONABIO y obtener los mejores resultados para una rigurosa evaluación de las especies del género *Ctenosaura* que aún no se encuentren dentro del apéndice II de CITES, siempre con la finalidad de generar una correcta normatividad en el uso de las especies.

---

- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
- \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

### Parte 3

#### **Recomendaciones para el monitoreo, manejo y aprovechamiento sustentable de las iguanas de cola espinosa en vida silvestre**

El rancheo es una de las técnicas de comercialización más eficientes, pero también riesgosas si se pretende la recolecta de un gran número de ejemplares. El rancheo debe hacerse con mucho cuidado para mantener la población explotable en condiciones favorables, evitar que la producción disminuya y su extirpación local. Es muy fácil que un mal manejo de vida silvestre mediante el rancheo colapse en sus poblaciones que, en el caso de los reptiles, podría evitar su recuperación al corto plazo. Para tener explotación sustentable mediante la técnica de rancheo es muy importante tomar mediciones confiables y ser honesto con respecto a los datos y resultados que dictan los estudios. Falta de honestidad puede llevar las poblaciones a la extinción.

Para realizar estudios que permitan establecer una tasa de extracción sustentable en un área determinada es necesario realizar estudios de campo. Estos estudios consisten en obtener información de la abundancia de ejemplares que existen en el área y mediante el cálculo matemático de estimaciones establecer el número de extracciones que pueden realizarse sin que la población sea afectada y se mantenga a perpetuidad en el sitio. Existen tres tipos básicos de muestreo y cálculos. Estos métodos deben realizarse al pie de la letra y los datos deben ser confiables para su verificación.

Estos estudios son esenciales en un inicio, para poder dar de alta un sitio como UMA extensiva ante la DGVS SEMARNAT, y en segunda instancia para obtener los permisos de explotación y, de considerarse, exportación al extranjero. En cualquier caso, los estudios serán analizados y verificados por un experto. Para poder exportar bajo el régimen de CITES II se requiere que los lineamientos de explotación sustentable sean perfectamente documentados y avalados por la oficina CITES en CONABIO, México.

Los métodos de muestreo se dividen en tres: a) por recorrido en franja, b) por cuadrante y c) por población. De acuerdo con el que se utilice, será más fiable la información obtenida sobre el recurso y la tasa de aprovechamiento. Para un mejor manejo de las poblaciones en vida libre, los monitoreos por población son más confiables; en segundo lugar los monitoreos por cuadrante; y en tercer lugar los monitoreos en franja. Los monitoreos por recorrido lineal, muy usados en tierra firme, proporcionan resultados poco confiables y no son recomendables para diseñar modelos de explotación sustentable. Para que una población sea perfectamente explotable y garantice la perpetuidad de la especie en el sistema, es imperante que el monitoreo de sus poblaciones mejore año con año, sugiriéndose empezar con los monitoreos en franja en el primer año manteniendo un compromiso de realizar monitoreos por cuadrante para el segundo año y finalmente realizar un monitoreo por poblaciones para el tercer año. De

seguir esta serie de pasos, se podrán tener datos precisos para lograr modelar proyecciones de explotación a diferentes tasas, lográndose el mejor manejo posible.

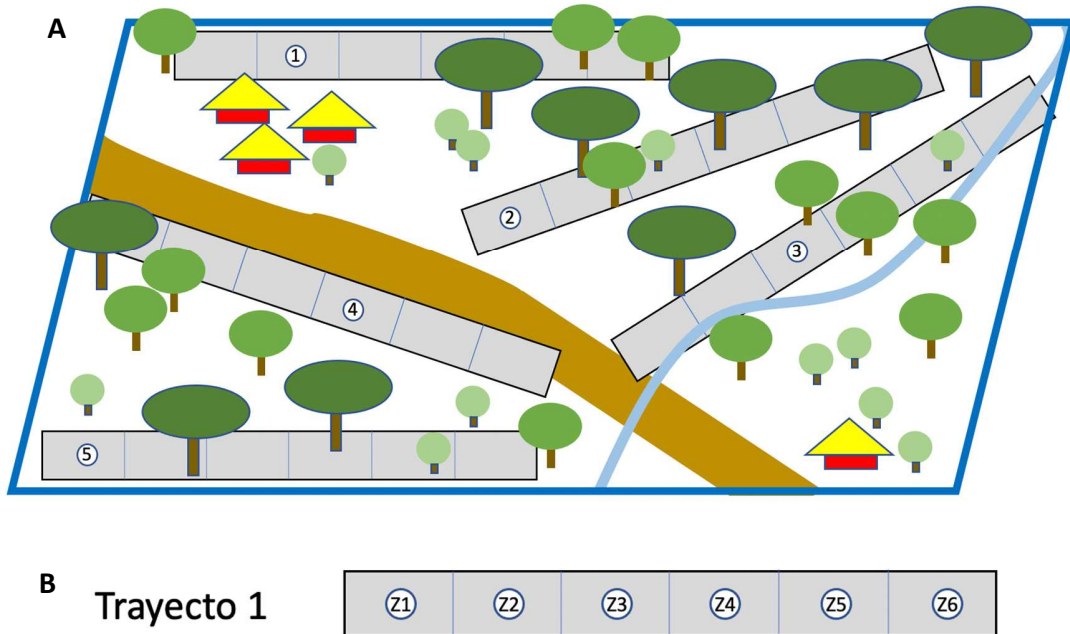
En todos estos métodos, la calidad de los datos debe ser fehaciente y demostrable, por lo que se recomienda llevar una bitácora de cada ejemplar avistado, así como de su fotografía y georreferencia. Mejores datos se obtienen si los ejemplares son capturados, medidos, sexados y se determine su estado de desarrollo, ya que se podrán estimar tasas de aprovechamiento distintas para hembras y machos o de crías, juveniles y adultos, dependiendo lo que se quiera aprovechar.

**a) Método por recorrido en franja.** Con este método se pueden establecer densidades mínimas de un área definida, considerando que la distribución del ambiente y fisiografía del terreno son idénticos en toda su extensión, cosa que es falso. Es el método menos confiable para hacer estimaciones de densidad de una especie en particular dentro de un cuerpo de agua. Este método se basa en muestreos en franjas estandarizadas en función del tamaño del área que se quiere muestrear. Las franjas de muestreo tienen un largo determinado y deben cubrir cierta anchura en ambos lados de la línea media, en la que se registra todos los individuos que se encuentra dentro de un tramo. Para que el método sea eficiente, se deben establecer suficientes recorridos que abarquen una porción considerable del área de estudio (Figura 1).

Para las iguanas se hacen muestreos con encuentros visuales con captura de preferencia, recorriendo una y otra vez trayectos preestablecidos dentro del área que se pretende aprovechar. Los trayectos pueden ser caminos, veredas o cauces de arroyos que crucen el área. Los muestreos se hacen revisando todos los posibles lugares donde se puedan esconder las iguanas, incluyendo, las copas de los árboles, los troncos, los ramales, las oquedades de los árboles, los montones de piedra, las grietas entre rocas, oquedades en el suelo, etc. La búsqueda debe ser lo mas exhaustiva posible para que los resultados se aproximen a la realidad. Si el área de aprovechamiento es muy extensa, deben establecerse varios trayectos dentro de ella distribuidas en diferentes zonas y cruzando los diferentes ambientes, y debe estar lo suficientemente separadas entre ellas para evitar los conteos dobles de iguanas. Para facilitar los análisis, es preferible que todos los trayectos sean idénticas en su longitud y anchura.

Cada recorrido consiste en caminar los trayectos que se hayan dispuesto en el terreno. Entre mas recorridos se hagan, mejor serán los datos y mejor será la confianza de que los resultados son certeros. Aun cuando se pueden registrar solamente los avistamientos para obtener datos de abundancia y densidad estimada dentro del área, los análisis y resultados son mejores si se los animales se capturan obteniendo datos de sexo, tamaño, peso y estadio (cría, juvenil o adulto) que permiten hacer estudios poblacionales mas profundos (ver métodos basados en poblaciones, mas abajo). Para lograr un mejor análisis espacial, se recomienda

georreferenciar la ubicación de cada avistamiento en el trayecto para que puedan plasmarse datos de abundancias en un mapa de sitio (ver métodos basados en área, mas abajo).



**Figura 1. A. Vista aérea en la que se ilustra un ejemplo de como se podrían colocar los trayectos para cubrir la mayor área posible dentro de un área de aprovechamiento. En gris, trayectos en numeradas (círculo blanco). Cada trayecto está zonificado en cinco partes. Se ilustran 5 trayectos de 40 m de largo por 5 de ancho cubriendo un área total de muestreo de 1000 m<sup>2</sup>. Se recomienda que todos los trayectos sean del mismo largo y ancho para facilitar los análisis. Entre mas recorridos se hagan por trayecto, mejor serán las estimaciones. trayecto cubra la mayor área para mejorar el muestreo. B. Zonificación de los trayectos de Z1 a Z6 en el ejemplo.**

Para estimar las densidades poblacionales con el método de recorridos por trayecto se requiere seguir el siguiente método. Se colocará uno o varios trayectos cubriendo la mayor superficie posible del área que se pretende aprovechar. Cada trayecto será zonificado en tres o mas partes iguales con el fin de agrupar los avistamientos y capturas (Figura 2). Se realizarán recorridos diarios en los 5 trayectos revisando exhaustivamente todos los sitios donde podrían esconderse las iguanas, por ejemplo, durante una semana. Para obtener resultados más confiables, se debe repetir el muestreo una semana al mes por varios meses, por ejemplo; y para tener una mejor representatividad del área, se pueden mover los trayectos a diferentes sitios para cubrir mejor el área a aprovechar en los distintos meses. Las iguanas avistadas deben ser capturadas con cautela con una gaza o con la mano registrando la georreferencia del avistamiento, el número de trayecto, la zona donde se capturó dentro del trayecto, el número del recorrido y fecha y hora de la captura. Cada iguana debe individualizarse con una marca permanente y se debe fotografiar registrando su marca, foto de la cabeza dorsal, lateral y ventral, y su cuerpo con al menos la parte proximal de a cola en dorsal, lateral y ventral,

asociando las fotos al número de marca. De cada iguana debe registrarse su especie, sexo, peso y longitud hocico-cloaca, y si ya había sido capturada con anterioridad (recaptura), debe registrarse el número. Todas las iguanas capturadas deben ser liberadas en el mismo sitio de captura. Si por alguna razón alguna iguana resultara muerta por algún mal manejo, igual debe registrarse. Todas las iguanas deben ser liberadas independientemente de su estado físico, menos las muertas. Si el área de aprovechamiento propuesta es muy grande o intrincada, se debe repetir esta metodología en diferentes puntos.

Para la obtención de parámetros de densidad y abundancia, los datos a analizar son, longitud del trayecto, ancho del trayecto y número de observaciones en cada recorrido por especie. Si se requieren densidades por estructura poblacional se requiere la longitud hocico-cloaca (o estadio: cría, juvenil o adulto) y sexo de cada individuo. A partir de estos datos se puede calcular la densidad y tamaño relativo de la población, asumiendo que el ambiente de todo el sitio es semejante, cosa que es irreal. Así, con el promedio de las densidades de cada recorrido se obtendrá un promedio general que permitirá calcular la densidad de iguanas estimada por área (número de individuos de cada tamaño y cada sexo en el área total). Además, a partir de los datos de longitud y el sexo se puede estructurar la población por categorías de tamaños dando a conocer si existe una buena proporción de todas las clases de tamaño o estadios, si la población cuenta con ejemplares reproductores, sobre todo hembras, que, en un futuro, aporten al reclutamiento de nuevos individuos a la población y si la proporción de sexos es correcta. Estos parámetros nos permitirán proponer una tasa de aprovechamiento realista basada en datos de campo. Debido a que el método es el menos fiable, ya que no hay certeza alguna de que las iguanas se distribuyan uniformemente en toda el área, el porcentaje de aprovechamiento debe ser conservador. Se sugiere que no debe sobrepasar del 5% de la abundancia total de iguanas estimadas en el área a aprovechar. También se recomienda que de este 5% no se extraigan las hembras o que el porcentaje de extracción de las hembras sea muy bajo debido a que la demografía de las iguanas depende más que nada del número de hembras adultas, por lo que se debe tener especial cuidado al realizar su extracción. En caso de que se desee extraer hembras adultas, un porcentaje de extracción conservador es de cuanto más del 1.25% del total de la población, (25% del 5% aprovechable). También puede decidirse que el cinco por ciento aprovechable sea de todos adultos machos, todos juveniles o todas crías, o una combinación de ellos sin rebasar la proporción.

Los análisis de datos deben hacerse por especie, y pueden separarse los valores de hembras, machos, juveniles y crías para obtener datos más precisos por sexo y estadio. Así, la densidad del sitio debe estimarse dividiendo el número total de capturas de una especie entre el área total muestreada, pero sin contar las recapturas. Para calcular cuantas iguanas podemos aprovechar de manera segura, protegiendo lo más posible a la población, hay que establecer la variación intrínseca al muestreo, ya que el número de iguanas capturados por trayecto y por

recorrido varía. Para esto, se debe establecer la desviación típica a partir de los datos de captura por recorrido.

La manera más segura de estimar el número de iguanas que pueden ser aprovechadas, es mediante el cálculo del Total Base Aprovechable. Este valor pretende beneficiar a las poblaciones naturales de iguanas al calibrar el número de capturas totales con respecto a la variación que existe entre los diferentes trayectos. La calibración se da entre líneas de muestreo, ya que muestran mayor variación, al estar colocadas cada una en sitios diferentes que podrían tener condiciones ambientales diferentes y afecten la distribución de las iguanas. Para calcular de manera fácil el TBA seguiremos el ejemplo del Cuadro 3.

**Cuadro 3. Ejemplo para calcular el total base aprovechable de un área hipotética de 5 hectáreas. Se colocaron 3 trayectos divididos en tres zonas en los que se realizaron 5 recorridos, cubriendo un total de 600 m<sup>2</sup> por trayecto. El número de recapturas no debe contarse. T = trayecto; R = recorrido; X = Promedio; DT = desviación típica; X-DT = promedio menos la desviación típica; NZ = Número de zonas; BAR = base aprovechable del recorrido.**

Trayecto	Número de iguanas capturadas (sin contar recapturas)									Total	X	DT	X-DT	NZ	BAR
	T1			T2			T3								
Zona	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
<b>Recorrido</b>															
R1	12	10	7	6	4	5	25	22	25	116	12.9	8.7	4.2	9	37.5
R2	15	10	2	4	8	4	21	18	14	96	10.7	6.7	3.9	9	35.5
R3	12	10	5	2	5	3	17	15	14	83	9.2	5.6	3.6	9	32.5
R4	10	8	6	2	3	5	12	10	8	64	7.1	3.4	3.7	9	33.7
R5	2	3	5	2	5	6	10	5	3	41	4.6	2.5	2.1	9	18.5
										<b>Total Base Aprovechable (TBA) =</b>	157.59				
										<b>*Densidad (iguanas por metro cuadrado) =</b>	0.09				
										<b>Iguanas por hectárea =</b>	875				
										<b>Área total de aprovechamiento =</b>	50000				
										<b>Iguanas totales estimadas en el área de aprovechamiento =</b>	4377				
										<b>Porcentaje sugerido de aprovechamiento 5% =</b>	0.05				
										<b>Iguanas que se puede aprovechar =</b>	219				

El Cuadro 3 representa un ejemplo en el que se colocan 3 trayectos en sitios diferentes divididos en tres zonas cada uno, y se hacen cinco recorridos totales. Los trayectos son de 5 x 40 m cubriendo un total de 600 m<sup>2</sup>. Para el ejemplo vamos a suponer que el área total que se pretende aprovechar es de 5 hectáreas. En un cuadro se deben acomodar los valores de captura de cada trayecto por zona y por recorrido como muestra el cuadro 3. Después de debe calcular el promedio de cada recorrido (indicado por X), así como su desviación típica (indicado por DT). El promedio no es mas que la suma de las iguanas capturadas en todas las zonas de todos los trayectos en el primer recorrido, dividido entre el total de zonas. En este caso, en el

recorrido 1 se capturaron 12+10+7+6+4+5+25+22+25 iguanas que suman 116 iguanas. El promedio sería 116 iguanas/9 zonas = 12.9 iguanas por zona ( $X = 12.9$ ). El cálculo de la desviación típica es un poco complejo, y para su entendimiento los refiero a [https://es.wikipedia.org/wiki/Desviación\\_típica](https://es.wikipedia.org/wiki/Desviación_típica), pero puede calcularse fácilmente en una hoja Excel (función =DESVEST). A grandes rasgos, la desviación típica es cuantas iguanas más o menos de la media podría haber en el muestreo. En el caso del recorrido 1, la desviación típica es igual a 8.1, esto quiere decir que de las 12.9 iguanas promedio registradas, en realidad podría haber 8.1 más o 8.1 menos, esto es un rango de 4.2 a 21 iguanas, pero como no lo sabemos, para beneficio de la población nos vamos al valor posible más bajo. Entonces al promedio  $X = 12.9$  le vamos a restar las 8.1 iguanas estimadas a partir de la desviación típica, resultando  $12.9 - 8.1$  iguanas = 4.2 iguanas, y este valor lo vamos a multiplicar por el número de zonas muestreadas, o sea 9, de tal manera que  $4.2 \times 9 = 37.5$ . El valor 37.5 representa el estimado base aprovechable del recorrido. Entonces así se hacen todos los recorridos estimando los valores correspondientes. El TBA (Total Base Aprovechable) entonces sería la suma de los valores base aprovechable de todos los recorridos. Entonces,  $TBA = 37.5 + 35.5 + 32.5 + 33.7 + 18.5 = 157.59$  iguanas. Estas son las iguanas que se valoran aprovechables a partir de las estimaciones del muestreo. Entonces para saber cuántas iguanas hay en el área de aprovechamiento, que en el ejemplo son 5 hectáreas, primero se debe calcular la densidad por metro cuadrado y llevarlo al número de hectáreas. La densidad por metro cuadrado es la división del valor TBA entre el área total muestreada ( $600 \text{ m}^2 \times 3 \text{ trayectos} = 1800 \text{ m}^2$ ) resultando  $157.9 \text{ iguanas} / 1800 \text{ m}^2 = 0.087 \text{ iguanas/m}^2$ . Este valor se multiplica por 10,000 para obtener iguanas por hectárea y después por 5 para saber el valor en 50 hectáreas ( $0.087 \times 10,000 \times 5$ ) = 4376.6 (4377) iguanas totales aprovechables.

El 5% de las iguanas aprovechables sería el 5% de 4377 iguanas, esto es  $4377 \times .05 = 218.8$  (219) iguanas. Si se desea el aprovechamiento de hembras sería de 1.25 % de 4377, esto es  $4377 \times .0125 = 54.7$  (55) iguanas hembras. Los cálculos de aprovechamiento para los demás sexos y estadios se hacen de la misma manera.

Debido a que este tipo de muestreo genera mucho error en los valores estimados, los cálculos deben ser en beneficio de la población y no al revés. El incremento de los esfuerzos de muestreo mediante el aumento del número de trayectos, reflejará de mejor manera la representación de las iguanas capturadas en el muestreo en el área total a aprovechar. Así, la varianza dentro del área de aprovechamiento disminuye al obtenerse datos más homogéneos, resultando en mejores tasas de aprovechamiento.

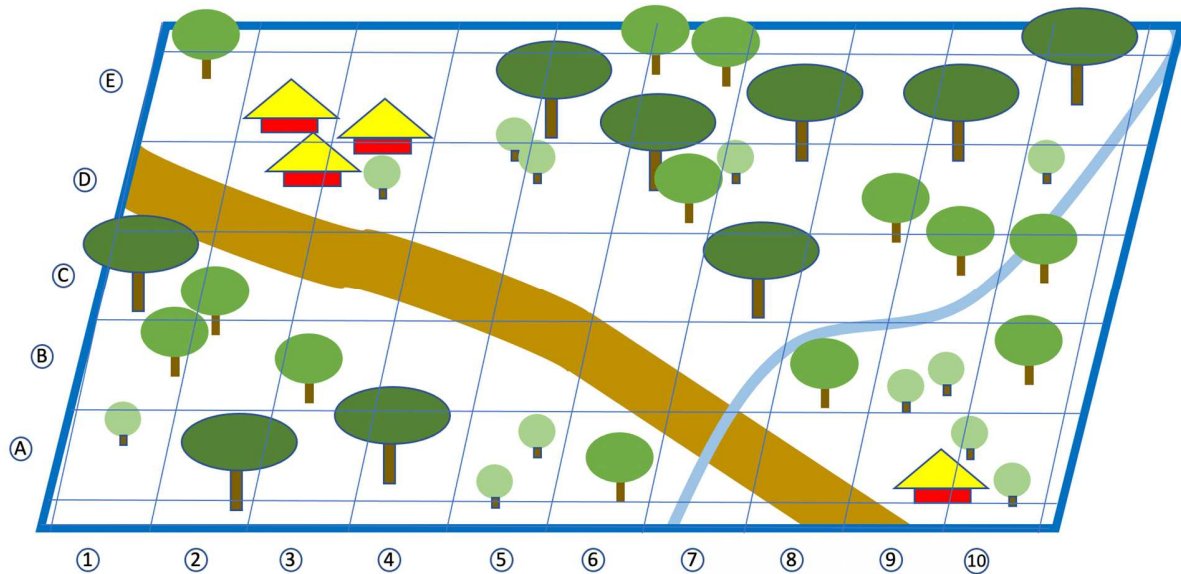
**b) Métodos basados en área (Modelos de ocupación).** Los modelos de ocupación son herramientas que permiten explicar el uso y la distribución de una especie considerando que no es posible observar al 100% de los individuos en un área determinada. Este método pretende determinar la proporción de área que ocupada una especie cuando no es posible observarla de



manera directa. Es más preciso que el método de recorridos en franja, ya que el resultado final está basado en los puntos de colecta donde sí se encuentra la iguana, y no se extrapola las densidades obtenidas al total del área de aprovechamiento, otorgando valores más realistas. Si se implementa de manera correcta, con este método se puede predecir la presencia de una especie basado en covariables de hábitat (humedad, temperatura, cobertura forestal, tipo de suelo, degradación ambiental o contaminación, presencia de depredadores, entre muchos más). Para que este método rinda resultados confiables, es necesario implementar un muestreo intensivo que represente el área de estudio y que incorpore los hábitos de la especie. Para que el método funcione el área de aprovechamiento debe dividirse en muchos cuadrantes y el muestreo se realizará dentro de ellos. Entre mas cuadrantes, mejor pues hay mayor detalle en la distribución de la especie en el terreno. Los datos asociados a cada captura deben ser de calidad para cumplir los criterios de los modelos. Es necesario asegurar que la especie de interés siempre sea identificada de manera correcta, que los cuadrantes sean visitados en múltiples ocasiones y asegurarse de que el estado de ocupación en cada zona del cuadrante (ocupada o desocupada) esté bien registrado. El mejor periodo para muestrear es de la mañana al medio día cuando las iguanas están asoleándose y son mas visibles, y los meses cuando las iguanas tienen su mayor actividad son en marzo-abril cuando las hembras depositan sus huevos y en septiembre-octubre durante el periodo de apareamiento. Se recomienda hacer estudios preliminares para saber si el esfuerzo de muestreo planeado es suficiente para capturar iguanas.

Para usar este método se debe hacer lo siguiente. El área de interés debe dividirse en cuadrantes (Figura 2). No es necesario trazar los cuadrantes sobre el terreno, pero si es necesario que los avistamientos y capturas se asignen a algún cuadrante. Es preferible que los cuadrantes sean cuadros bien definidos. Y su número está en función del tamaño del área de aprovechamiento. Se ponen cuadrantes mas grandes en terrenos grandes y mas chicos en terrenos chicos. En cuanto más cuadrantes se tengan, el muestreo es más eficiente. Los recorridos se harán a cuadrantes seleccionados aleatoriamente en los cuales se hará una búsqueda intensiva de las iguanas en el sitio. Es importante que el número de visitas a los cuadrantes sea equivalente para facilitar los análisis. Cada mañana se elegirá que cuadrantes se visitarán ese día y se irán recogiendo los datos asociados a cada cuadrante y a cada iguana. Entre los datos más importante son, número de cuadrante (A5, E10, en el ejemplo), presencia de la iguana en el cuadrante, numero de iguanas avistadas y capturadas en el cuadrante, marca de la iguana, fotografías de la iguana (cabeza y cuerpo, dorsal lateral y ventral), longitud hocico cloaca, sexo, estadio (adulto juvenil o cría). Además, es imprescindible tomar la ubicación geográfica del cuadrante (coordenadas GPS) y datos ambientales asociados al cuadrante en el día de muestreo, como por ejemplo, temperatura, humedad, cobertura del dosel, tipo de suelo, inclinación del terreno, presencia de rocas de refugio u oquedades en los troncos, tipo de percha (árbol o roca donde se avistó o capturó la iguana), proximidad a cuerpos de agua, etc.; y

pueden ser de utilidad registrar otras como presencia de alimento, depredadores y cazadores. Para obtener estas mediciones se requiere cierta instrumentación como GPS, termó-higrómetro, clinómetro, densiómetro cóncavo, etc. o adaptaciones a estos instrumentos. Ahora existen aplicaciones de GPS, termómetro, brújulas, clinómetros, densiómetro, etc. para teléfono celular.



**Figura 2. A. Vista aérea en la que se ilustra un ejemplo de como se podrían colocar los cuadrantes para cubrir la mayor área posible dentro de un área de aprovechamiento. Los números y letras en círculo blanco representan las coordenadas como se nombrará a cada cuadrante. Se ilustran 50 cuadrantes. El área que queda fuera de los cuadrantes no se usa para las estimaciones dentro de los cuadrantes, pero si se considera al estimar el área total de aprovechamiento. Se recomienda que los cuadrantes del mismo largo y ancho para facilitar los análisis. Entre mas visitas se hagan a cada cuadrante, mejor serán las estimaciones. Empíricamente se observa que en el cuadrante C6 no debe haber muchas iguanas, ya que está el camino, comparado, por ejemplo con el cuadrante E10 que cae en el bosque.**

Una vez obtenidos los datos de campo los análisis se proceden de la siguiente manera. En un mapa del área, puede ser de Google Earth, se marcan los cuadrantes, y sobre ellos, los puntos de georreferencia donde se encontró cada iguana. Después de cada muestreo, a cada cuadrante se le asigna la presencia y abundancia de iguanas encontradas, pero para tener datos más específicos, se puede asignar la presencia y abundancia de iguanas de cada sexo o estadio (cría, juvenil, adulto).

Cuando utilizamos modelos de ocupación consideramos principalmente dos variables, la ocupación y la detección. La ocupación (que se denota con el símbolo  $\psi$ ) describe la presencia o ausencia de la especie de estudio en los cuadrantes durante la temporada de muestreo. Por otro lado, la detectabilidad (que se denota con el símbolo  $p$ ) define la capacidad que tenemos nosotros, nuestro instrumental y método de muestreo para saber si la iguana está o no en cada

cuadrante muestreado y en el sitio. La ocupación y la detectabilidad están estrechamente relacionados y para calcular ambos se utiliza el mismo método. El método para estimar la ocupación y la detectabilidad está basado en muestrear un determinado número de sitios ( $s$ ) durante un determinado número de ocasiones ( $K$ ). En cada muestreo se da un número al cuadrante muestreado de 1 si la especie está presente y de 0 si la especie está ausente. Con las repeticiones generadas en todos los muestreos de ese mismo sitio, se genera la historia de detección que es la secuencia de detecciones (1) y no detecciones (0) de la especie durante los muestreos. La historia de la detección la llamaremos ( $h$ ).

Por ejemplo, el terreno en donde se quieren explotar iguanas, tiene un área de 100 h y se decidió dividirla en 10 cuadrantes de los cuales se muestreará la mitad. Aleatoriamente se seleccionaron muestrear los cuadrantes 1, 2, 3, 6 y 9. Cada cuadrante se recorrió en seis ocasiones. Después del muestreo, en el cuadrante 1 solamente se registró la presencia de iguanas en el segundo muestreo. Así, la historia del cuadrante 1 (que llamaremos  $h_1$ ) sería 0, 1, 0, 0, 0 y 0; esto es, que la iguana no se registró en el primer muestreo (0), pero si en el segundo muestreo (1) y no se volvió a registrar en el tercero (0), cuarto (0), quinto (0), ni sexto (0). Entonces:  $h_1 = 010000$ . Si en el cuadrante 5 se registraron iguanas tres veces, en el muestreo 2, 3 y 6, la  $h$  sería  $h_5 = 011001$ ; es decir, no se vio en el primer muestreo (0), si se vio en el segundo (1) y en el tercero (1) pero no en el cuarto (0), ni quinto (0) pero si en el sexto (1). Para el cuadrante 6 donde ninguna iguana fue detectada, la historia de detección sería representada por  $h_6 = 000000$ . De esta manera se va obteniendo la historia de muestreo de cada cuadrante hasta haber completado el número de cuadrantes escogidos. Para garantizar la eficacia del muestreo, es importante considerar que la especie objetivo nunca debe ser reportada por error cuando no está presente (falsa presencia). Todos los cuadrantes muestreados deben determinarse como ocupados o desocupados, y su estado no puede cambiar durante la misma ocasión de muestreo, una vez establecido. Recuerden que la honestidad en los datos es lo que lleva a un buen manejo de las poblaciones, aunque signifique el sacrificio de ingresos económicos.

A partir de las historias obtenidas en cada cuadrante se puede calcular la ocupación ( $\psi$ ) y la detectabilidad ( $p$ ). Existen distintas formas de calcular  $\psi$  y  $p$  para las unidades de muestreo. Se pueden utilizar modelos donde no existen fuentes de variación en los parámetros ambientales, pero éstos generan los peores escenarios para establecer la ocupación y la detectabilidad. Debido a esto, deben utilizarse modelos en los que se puedan incluir elementos ambientales que pueden estar estructurando la distribución de la especie en el cuerpo de agua. Estas variaciones ambientales son llamadas covariables. Existen distintos tipos de covariables como las mencionadas anteriormente en este capítulo, pero una de las fuentes de cambio más importante es la variación temporal; esto es, el cambio de la ocupación y la detectabilidad al pasar los meses en el año, por efecto del cambio estacional. En la notación del modelo sería

representada de la siguiente manera:  $\psi(.) p(t)$ , donde t indica una variación temporal en probabilidad de detección.

A partir de estos sencillos modelos, y cumpliendo de manera eficiente con los supuestos, es posible estimar valores útiles para conocer el estado de una población utilizando el amigable software PRESENCE <https://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>. Para explicar de manera sencilla el uso práctico de estos modelos tomaremos el ejemplo del cuadro 3. Imaginemos un muestreo de iguanas en el que contamos con 10 cuadrantes (o pueden ser 10 cuerpos de agua pequeños), las cuáles fueron muestreadas 5 ocasiones durante la temporada de lluvias. La hoja o el reporte de muestreo a partir del cual generaremos la historia de detección ( $h_i$ ) sería similar al Cuadro 4.

**Cuadro 4. Ejemplo de formato de registro para análisis de ocupación.  
Valores de MacKenzie et al. (2006).**

Sitios de muestreo (s)	Ocasiones de muestreo (K)				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	1	1
2	0	1	1	0	0
3	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0

De esta manera la historia de muestreo (h) para el sitio 1 sería  $h_1 = 00011$ , la del dos  $h_2=01000$ ,  $h_3=00000$ , etc. Una vez establecidas las historias de detección, estas se ingresan al programa el cuál estimará los valores de varios modelos posibles (e. g.  $\psi(.) p(.)$  o  $\psi(.) p(t)$ , etc.)

Los resultados obtenidos en el programa PRESENCE muestran distintos valores entre los que se incluyen indicadores de que tan buenos son nuestros modelos respecto a nuestro muestreo, así como los valores de ocupación ( $\psi$ ) y detectabilidad ( $p$ ). Un reporte de resultados de dicho software se presenta en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Ejemplo de resultado de un análisis ocupacional hipotético.  
Datos de MacKenzie (2006).**

Modelo	$\Delta AIC$	w	#Parámetros	-2L	$\psi$	$SE(\psi)$	p1	p2	p3	p4	p5
$\psi(.) p(.)$	0	0.73	2	161.76	0.60	0.12	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$\psi(.) p(t)$	1.95	0.27	6	155.71	0.58	0.12	0.18	0.13	0.40	0.35	0.27
Promedio					0.59	0.12	0.24	0.22	0.30	0.28	0.26

Las columnas  $\Delta AIC$ , w, #Parámetros, -2L y  $SE(\psi)$  son indicadores de la calidad de los modelos obtenidos.  $\Delta AIC$  es la diferencia entre modelos mejor puntuados de acuerdo en el Criterio de Información de Akaike (AIC) que evalúa qué tan bien se ajusta un modelo a los datos a partir de los cuales se generan; w es el poder predictivo del modelo evaluado y indica cuántos de los valores observados en nuestros datos reales son predichos por el modelo observado; #Parámetros es el número de parámetros contenido en cada modelo. El número de parámetros para el primer modelo es 2 porque únicamente va a calcular  $\psi$  y p, y el segundo modelo indica 6 parámetros ya que calculó  $\psi$  y p para cada una de las cinco ocasiones de muestreo, lo que da un total de 6 parámetros estimados y -2L es dos veces el logaritmo negativo de la probabilidad de ocupación, que es el límite máximo que indica un buen ajuste al modelo. Por otro lado,  $SE(\psi)$  la variación de la ocupación dentro del modelo respecto a la media ocupacional observada.

Los modelos con  $\Delta AIC$  menor a 2 se consideran válidos. Debido a que es difícil decidir qué modelo es el mejor se opta por hacer un promedio de los modelos para  $\psi$ ,  $SE(\psi)$  y p (1 - 5 en el ejemplo). Ese valor promedio nos dictará la ocupación promedio y su error estándar, y las detectabilidades por ocasión de los muestreos de 1 a 5. Para poder realizar el promedio únicamente se pueden utilizar los modelos cuyos valores en la columna de  $\Delta AIC$  sea menor a 2. En el ejemplo no resulta un problema ya que únicamente se incluyeron dos modelos y ambos son menores a dos.

La ocupación ( $\psi$ ) es similar en ambos modelos (0.60 y 0.58) y el promedio (0.59). En este caso son similares porque no existe fuente de variación o covariables que afecten estos valores. Por otro lado, cuando utilizamos el modelo sin variación [ $\psi(.) p(.)$ ] los valores de detectabilidad (p) se mantienen constantes en las cinco ocasiones de muestreo (0.26), y cuando utilizamos el modelo con variación temporal [ $\psi(.) p(t)$ ] los valores de detectabilidad (p) cambian para cada una de las cinco temporadas de muestreo (0.18, 0.13, 0.40, 0.35 y 0.27). De acuerdo en estos resultados, tomando en cuenta los valores promedio, la probabilidad de encontrar una iguana si visitáramos alguno de los cuadrantes es de 0.22 a 0.30, muy bajo.

La deficiencia del muestreo se observa cuando el valor resultante de la división entre sitios ocupados entre sitios totales es diferente a  $\psi$ . En nuestro ejemplo (Cuadro 4) se encontraron iguanas en 4 de 10 sitios, indicando una ocupación real de 0.4. Al restar este valor

al de probabilidad de ocupación del modelo 1,  $\psi = 0.6$ , nos da una diferencia de 0.2. Esto indica que nuestro cálculo de  $\psi$  sobreestima en un 20% la población medida. Los valores de ocupación generados a través de este método permiten obtener productos como mapas o modelos de distribución basados en presencia y ausencia dentro del área de estudio relacionada con las variables bióticas y abióticas que permitirán conocer de mejor manera las necesidades de cada una de las poblaciones y permitirá un aprovechamiento sustentable de la especie.

Hasta el momento la estimación de la ocupación las probabilidades de detección han sido considerados como constantes [ $\psi(\cdot) p(\cdot)$ ] o con variación a través del tiempo [ $\psi(\cdot) p(t)$ ]. No obstante, los modelos de ocupación permiten utilizar covariables (es decir, temperatura, humedad, cobertura de dosel, tipo de suelo, etc.) para calcular las probabilidades de ocupación y detección. Estos valores se insertan al programa PRECENSE para generar mejores modelos de predicción sobre la presencia de la especie en cada cuadrante. Para este propósito es necesario llevar una bitácora sistemática y detallada de las variables ambientales de interés ya que las probabilidades de ocupación y detección se estiman en función del cuadrante o en función de la ocasión de muestreo.

Para esto, se debe recopilar la historia de medición de cada variable generando una matriz de ocurrencia similar al Cuadro 6, colocando las medidas obtenidas en cada ocasión de muestreo por sitio de muestreo (cuadrante). Se debe generar una matriz igual para cada covariable y esta se ingresa al programa PRESENCE del mismo modo que la historia de ocupación. El programa asignará cada variable medida a la presencia o ausencia de iguana en la misma medida, y partir de las asociaciones entre medidas y ocurrencias establecerá la probabilidad de ocurrencia en función de las variables, una forma muy acertada de predicción. La estimación de las probabilidades de ocupación puede darse en función de una sola covariable o como un conjunto de ellas.

**Cuadro 6. Ejemplo de formato de registro de covariables para análisis de ocupación. Valores hipotéticos de la covariable temperatura (°C).**

Sitios de muestreo (s)	Ocasiones de muestreo (K)				
	1	2	3	4	5
1	25	27	26	30	32
2	25	32	32	27	25
3	24	29	25	28	28
4	25	26	26	26	27
5	23	24	22	26	26
6	26	25	26	26	26
7	25	26	25	25	26
8	26	26	30	29	29
9	25	28	28	30	30
10	23	27	26	28	28

A partir de las matrices que contienen la historia de detección para cada sitio, así como de las covariables analizadas para cada unidad de muestreo, es posible generar modelos útiles para explicar la ocupación de nuestras unidades de muestreo basados en observaciones directas de la zona de muestreo, como las presentadas en la Figura 3.

Año 1

1 p = 0.0 n = 0	2 p = 0.0 n = 0	3 p = 0.4 n = 10*	4 p = 0.6 n = 27	5 p = 0.8 n = 42*
6 p = 0.0 n = 0	7 p = 0.0 n = 0*	8 p = 0.2 n = 7	9 p = 0.6 n = 20	10 p = 0.8 n = 35
11 p = 0.4 n = 10	12 p = 0.2 n = 6	13 p = 0.2 n = 5	14 p = 0.4 n = 10*	15 p = 0.8 n = 42
16 p = 0.6 n = 31	17 p = 0.6 n = 25*	18 p = 0.6 n = 22	19 p = 0.6 n = 25	20 p = 0.8 n = 51
21 p = 0.8 n = 42*	22 p = 0.8 n = 40	23 p = 0.8 n = 37	24 p = 0.8 n = 42*	25 p = 0.8 n = 47

Año 2

1 p = 0.6 n = 27	2 p = 0.6 n = 25	3 p = 0.8 n = 41*	4 p = 1.0 n = 67	5 p = 1.0 n = 71
6 p = 0.6 n = 27*	7 p = 0.6 n = 31	8 p = 0.8 n = 35	9 p = 1.0 n = 73	10 p = 1.0 n = 82
11 p = 0.8 n = 45	12 p = 0.8 n = 50	13 p = 0.8 n = 37	14 p = 1.0 n = 69*	15 p = 1.0 n = 73
16 p = 1.0 n = 53	17 p = 1.0 n = 55	18 p = 0.8 n = 41*	19 p = 1.0 n = 65	20 p = 1.0 n = 85
21 p = 1.0 n = 80	22 p = 1.0 n = 69*	23 p = 1.0 n = 65	24 p = 1.0 n = 69	25 p = 1.0 n = 69*

**Figura 3. Disposición de 25 cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> en dos años consecutivos. Cada cuadrante muestra, en un número de cuadrante (arriba) la probabilidad de ocupación (en medio) y número de capturas en campo sin incluir recapturas (abajo). Los valores de probabilidad de ocupación están de un gradiente de verde oscuro (p = 0) a rojo (p = 1). Los cuadrantes que no se muestrearon están cruzados con una diagonal. En estos cuadrantes el número de capturas estimadas están marcados con asterisco (\*).**

Una vez obtenida las probabilidades de ocupación, asociada con los parámetros ambientales (Figura 3), entonces podemos calcular la densidad y el tamaño poblacional. Con este método, la densidad estará en función de probabilidades de ocupación de las áreas que pueden ser usadas por la especie, de acuerdo en las características ambientales preferidas por la misma. Para estar del lado amable, el aprovechamiento debe hacerse solamente de acuerdo en aquellas áreas donde probabilidad de ocupación sea de media a alta. Así, los cuadrantes se van a clasificar en tres grupos: 1) los de probabilidad de abundancia baja; 2) los de probabilidad de abundancia media; y, 3) los de probabilidad de abundancia alta. Un método simple para hacer esto es restar el valor de probabilidad de ocupación al mayor valor de probabilidad de ocupación y dividirlo entre 3. Así, para el Año 1 se resta  $0.8 - 0.0 = 0.8/3 = 0.26$ . Así los grupos quedarían, 1) de  $p = 0.0$  a  $p = 0.26$ ; 2) de  $p = 0.27$  a  $0.52$ ; y, 3) de  $0.53$  a  $0.80$ ; y para el Año 2,  $1.0 - 0.6 = 0.4/3 = 0.13$ , y los grupos quedarían de a)  $0.6$  a  $0.73$ ; b) de  $0.74$  a  $0.86$ ; y, c) de  $0.87$  a  $1.0$ .

La figura 3 representa un muestreo hipotético en un terreno donde se establecieron 25 cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> cada uno, resultando una superficie total de 2500 m<sup>2</sup>. Los datos requeridos para los cálculos son el número del cuadrante, la probabilidad de ocupación y el número de capturas por cuadrante (excluyendo las recapturas). Los datos de número de

capturas por cuadrante se extrapolarán a aquellos cuadrantes que no fueron muestreados (cruzados en la figura 3). Los valores asignados a los cuadrantes no muestreados, será igual al promedio del número de iguanas encontradas en los cuadrantes con la misma probabilidad de ocurrencia (mismo color en la figura 3). Así, en el Año 1, para el cuadrante 7 en verde (no muestreado), se le asigna el promedio de los valores de los cuadrantes 1, 2 y 6 ( $n = 0$ ) (muestreados); para los cuadrante 3 y 14 en amarillo (no muestreados), se asigna el mismo valor que el cuadrante 11 amarillo (muestreado) y para el cuadrante 17 en ámbar (no muestreado) se le asigna el promedio de los cuadrantes 4, 9, 16, 18 y 19 (muestreados); esto es  $(27+20+31+22+25)/5 = 25$ ; y, a los cuadrantes 5, 21 y 24 anaranjado (no muestreados) se les pondría el promedio de  $n$  de los cuadrantes 10, 15, 20, 22, 23 y 25; esto es  $(35+42+51+40+37+47)/6 = 42$ . Del mismo modo se procedería para el Año 2. Para hacer estos cálculos fáciles, se recomienda hacer agrupaciones de probabilidad en rangos de 0.1.

Para estimar la densidad, los cuadrantes del grupo 1 (con probabilidad de ocurrencia baja), quedan fuera del análisis, ya que extender un aprovechamiento promedio considerando valores de zonas con pocas iguanas podría resultar poco beneficioso para a población. Entonces, para calcular la abundancia poblacional de iguanas del sitio, de manera simple es dividir la suma del total de las iguanas encontradas y estimadas en los cuadrantes del grupo 2 y 3 entre el tamaño total del cuadrante. Así, para el Año 1, las iguanas que se estiman en cuadrantes con  $p$  entre 0.27 a 0.52 (grupo 2) y  $p$  entre 0.53 a 0.80 (grupo 3); es decir, todas las iguanas con  $p$  superiores 0.27 (cuadrantes en amarillo, ámbar y anaranjado), son:  $10+27+42+20+35+10+10+42+31+25+22+25+51+42+40+37 +42+47 = 558$  iguanas y la densidad es este valor dividido entre el área total del área a aprovechar. Debido a que la estimación se hizo con base a toda el área, y no a un fragmento de ella, entonces no hay necesidad de extrapolar los datos a una mayor área, como sucede en el modelo de recorridos en franja; y así, el número de iguanas estimado es mucho más cercano al tamaño real de la población en el área de aprovechamiento. Para estar aún más de lado amable, se debe calcular la desviación típica presentada en el apartado anterior, resultando de 13.02 iguanas que se deben ser restadas al total estimado, resultando  $558 - 13 = 545$  iguanas aprovechables. En el ejemplo (Figura 3), el área total es de 2,500 m<sup>2</sup> por lo que la densidad de iguanas en el área sería 545 iguanas / 2,500 m<sup>2</sup> = 0.218. Para estar más aun del lado amable hacia las poblaciones, se debe estimar el Total Base Aprovechable por recorrido, del mismo modo que se hizo en el apartado anterior, eliminando los cuadrantes de categoría 1, con baja probabilidad ocupación.

En el ejemplo, si aplicamos el criterio de 5% de explotación del total de las iguanas, tal y como se hizo en el apartado anterior, esto nos da que es posible la extracción de  $545 \times .05 = 27.2$ , o sea 27 iguanas machos, juveniles o crías. El 1.25% sugerido para la explotación de hembras da un total de 6.54, o sea 7 hembras. Si se desea explotar todas las categorías de edad las proporciones relativas de cada estadio o sexo estarán en función de cuantas hembras, machos, juveniles y crías se capturaron durante el estudio.



**c) Métodos basados en poblaciones.** Los métodos basados en estudios poblacionales son los más adecuados para establecer la cantidad de animales a aprovechar, ya que está basado exclusivamente en los datos poblacionales y no en estimaciones sesgadas por el área de muestreo. Los datos así, provienen directo de las poblaciones a explotar. Al igual que los análisis por recorrido o de área, se basan en técnicas de campo similares a las expuestas en los ejemplos anteriores, pero ahora se tiene la finalidad de capturar y recapturar individuos en un área o volumen de agua determinado, sin importar el tamaño o volumen del área. Los estudios son más largos, pues se requiere la recaptura del mayor número de ejemplares posibles, con el objetivo último de acercarse lo más posible a recapturar todos los ejemplares de la población. Es una herramienta que proporciona información básica de la población, incluyendo tamaño poblacional, con lo que se puede calcular la densidad, estructura de sexos, estructura de edades, e incluso tasas de natalidad y de mortalidad de los individuos que nos conllevan a entender el crecimiento poblacional, y la importancia de cada una de las categorías de edades en las generaciones subsiguientes y en el mantenimiento de la población. Los modelos poblacionales a los que se puede aspirar son muy precisos y ello permitirá hacer un plan de manejo perfecto para facilitar el mejor aprovechamiento de las especies y que al mismo tiempo garantice la persistencia de las poblaciones a largo plazo a partir de un manejo sustentable.

Actualmente se conocen diferentes métodos para conocer la dinámica demográfica de las poblaciones. Una buena y eficiente aplicación del método consiste en un buen planeamiento de tal manera que se puedan obtener todos los datos necesarios de una vez por todas, y así, tal vez con tantita ayuda profesional, hacer cálculos espectaculares con las poblaciones a aprovechar.

Los estudios basados en poblaciones requieren muestreos por censos, capturando y recapturando animales marcados una y otra vez por un periodo de tiempo establecido, generalmente durante un año o durante la época de mayor movilidad de la especie. Se recomienda el sistema de captura al azar en todo el terreno que será sujeto a aprovechamiento sustentable. Esto significa recorridos por todo el terreno capturando y recapturando las iguanas, por un periodo de tiempo definido. De hecho, si los muestreos arriba planteados se llevan a cabo detalladamente y con la toma de datos adecuada y tiempo suficiente, los mismos muestreos de recorrido en franja y por área de los apartados anteriores sirven para obtener parámetros poblacionales demográficos. Los datos que se deben tomar para un buen análisis son: fecha de captura, número de individuo, marca otorgada al individuo, sexo, longitud hocico cloaca, peso, estadio (adulto, juvenil, cría), y se debe señalar si es primera captura o recaptura. Así, los datos solicitados son los mismos que los indicados arriba.

**Tamaño de la población.** La estimación del tamaño poblacional es el insumo de mayor importancia para un plan de manejo. El método de captura-recaptura consiste en la captura,

marcaje, liberación de los individuos, que, después de cierto tiempo, suficiente para que los individuos marcados se mezclen con el resto de la población, se trate de recapturarlos en un nuevo muestreo. Mediante la relación entre las nuevas capturas y las recapturas se establece la proporción entre los individuos marcados y no marcados. Finalmente, la proporción de individuos marcados a lo largo de diferentes muestreos determinara el tamaño de la población. Para una estimación más realista del tamaño de la población es necesario cumplir con las siguientes condiciones: a) La marca utilizada para distinguir a los individuos debe ser permanente que permitan el reconocimiento individual de los organismos durante todo el periodo del muestreo. La marca debe ser permanente e inconfundible que individualice cada organismo. Se recomienda usar el método de cortes de espinas caudales (unidades derecha y decenas izquierda) señalado arriba; b) Todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de ser capturados, independientemente del sexo, tamaño, edad, condición física y fisiológica o estén marcados o no. Los muestreos al azar buscando detalladamente todos los rincones posibles donde las iguanas se pueden esconder garantiza esta condición. c) La manipulación de los individuos para su captura y marcaje no deberá afectar su supervivencia. El corte de espinas caudales es confiable en ese aspecto; d) Los individuos deberán ser liberados en el mismo sitio donde fueron capturados; y e) después de que los individuos fueron capturados, marcados y liberados, es necesario un periodo amplio que permita la distribución homogénea de los individuos marcados y no marcados entre cada muestreo. El tiempo necesario dependerá de las características de movimiento de la especie. En el caso de iguanas deben ser 15 días, así obteniéndose al menos 24 muestreos en el año. Debe considerarse que al haber cierta territorialidad, será factible encontrar una iguana una y otra vez en el mismo sitio. Debido a que el análisis es sensible al número de recapturas debe hacerse un esfuerzo para maximizarlas. Esto es haciendo que los recorridos sean mas detallados, y cubriendo todo el terreno, aunque cada recorrido total dure varios días. Es muy importante que el esfuerzo de captura sea idéntico en todos los recorridos.

El método más confiable para obtener parámetros poblacionales se conoce como el método de Jolly-Seber, que considera que la población es abierta. Se selecciona este método porque la mayoría de los sistemas terrestres son abiertos; es decir, libres para recibir y dejar salir organismos. Además, permite considerar que la población es natural, por lo que hay nacimientos, muertes, los cuales, se asume, no cambian en el tiempo.

Con el método de Jolly-Seber se puede calcular el tamaño de la población estimada durante un tiempo determinado ( $N_t$ ), conociendo el número de individuos capturados en cada muestreo ( $c_t$ ); el número de individuos recapturados en cada muestreo ( $r_t$ ); y el número de individuos que se liberaron en cada muestreo ( $l_t$ ).

Para hacer los cálculos deben verse los datos en un cuadro como indica el Cuadro 7. En la columna  $t$  van el número de la temporada de muestreo del 1 al último que se hace, en este caso 13. En la columna  $c_t$ , va el número de individuos capturados en cada muestreo. En el

ejemplo se capturaron 54 iguanas en el primer muestreo y 146 en el segundo, etc. En la columna  $r_t$  va el número de individuos marcados anteriormente y que fueron recapturados en ese muestreo. Como en el primer muestreo no hay recapturas, entonces se pone cero; en el segundo muestreo en cambio, se recapturaron 10 y en el tercero 37. En la columna  $l_t$ , se pone el número de iguanas liberadas al final de ese muestreo. En iguanas el valor  $l_t$  es normalmente igual al de  $r_t$ , ya que no suele haber muertes durante su manejo durante la captura. Cada iguana muerta que pudiese haber hace que el valor de  $l_t$  disminuya. La mayor posibilidad de muerte sería si un perro muerde una iguana, o si se exponen al calor y mueran, por ejemplo. Entonces las iguanas muertas cuentan para los cálculos de captura, pero no para los de liberación. En la parte del Cuadro 7 que dice "Recapturas por muestreo de acuerdo en su primera recaptura" se pone el número de recapturas separado de acuerdo en el muestreo en el que se capturaron por primera vez. Así, en el ejemplo, el muestreo 1 no hay recapturas, ya que apenas inicia el estudio; y en el muestreo 2, hay 10 recapturas, pero como todas se marcaron en el muestreo 1, todas se ponen en la columna  $r_1$ . A partir del muestreo 3 la dinámica cambia, ya que se recapturarán individuos marcados tanto en el muestreo 1 como en el 2. Así, en el ejemplo, de las 37 iguanas recapturadas en el muestreo 3, 3 fueron marcadas en el muestreo 1 (valor en la columna  $r_1$  del renglón 3) y 34 en el muestreo 2 (valor en la columna  $r_2$  del renglón 3). Así se debe llenar todo el cuadro hasta colocar los datos obtenidos hasta el final del muestreo.

Para calcular la suma de recapturas procedentes de cada muestreo efectuado ( $R_t$ ), se suman los datos de cada columna de  $r_2$  a  $r_{12}$ . No hay valor de  $R$  para la fecha inicial ni para la fecha final ( $R_1$  y  $R_{13}$  en el ejemplo).  $R_t$  es un valor auxiliar que se usará en cálculos posteriores.

Al igual que  $R_t$ ,  $Z_t$  es un valor auxiliar que representa el número de individuos marcados antes de cada temporada, pero no recapturados en la temporada, sino después; esto es,  $Z_t$  es una especie de tasa de recaptura ponderada por temporada. Para calcularlo debe llenarse el Cuadro 8. El Cuadro 8 proviene de los valores calculados en el Cuadro 7 y su cálculo es la parte más complicada del proceso. Así, en cada celda desde  $r_1$  a  $r_{13}$ , debe colocarse la suma del valor que hay en la misma celda en el Cuadro 7, más la suma de todos los valores encontrados a la izquierda de esa celda, también en el Cuadro 7.

Las celdas se llenan de la siguiente manera: a) La columna  $r_1$  se llena con las recapturas en cada uno de los muestreos de  $t_1$  a  $t_{13}$ , y queda idéntico a la columna  $r_1$  del Cuadro 7. b) Como en el segundo muestreo ( $t_2$ ) ya hay recapturas del primer muestreo, este mismo valor se pone en la celda de  $r_2$ , igual a 10 en el ejemplo. c) Para el muestreo 3 ( $t_3$ ), ya hay recapturas de los muestreos 1 y 2 y en la celda  $r_2$  del Cuadro 8, se pone la suma de la celda  $r_2+r_1$  del Cuadro 7; es decir,  $34+3 = 37$ . d) para el cuarto muestreo ( $t_4$ ), ya hay recapturas de los muestreos 1, 2 y 3 y en la celda  $r_3$  del Cuadro 8 se pone la suma de la celda  $r_3+r_2+r_1$  del Cuadro 7 ( $33+18+5 = 56$ ) y en la celda  $r_2$  la suma de la celda  $r_2+r_1$  del Cuadro 7 ( $18+5 = 23$ ). El resto de las celdas se llenan del mismo modo. Así, la celda  $r_5$  del muestreo 7 ( $t_7$ ) en el Cuadro 8, lleva la suma del

valor de la celdas  $r_5+r_4+r_3+r_2+r_1$  de muestreo  $t_7$  del Cuadro 7, es decir,  $34+10+5+6+1 = 56$ ; y la celda de  $r_9$  del muestreo 11 ( $t_{11}$ ), lleva la suma de los valores de las celdas  $r_9+r_8+r_7+r_6+r_5+r_4+r_3+r_2+r_1$  del Cuadro 7; es decir  $16+12+8+4+0+1+3+2+1 = 47$ . Para verificar que todos sus valores hayan sido calculados bien, basta notar que los valores de la diagonal son idénticos a los valores de  $r_t$  (Cuadro 8 en amarillo).

**Cuadro 7: Número de capturas-recapturas realizadas por muestreo.**

				Recapturas por muestreo de acuerdo en su primera recaptura												
t	ct	lt	Rt	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13
1	54	54	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	146	143	10	10	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	169	164	37	3	34	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	209	202	56	5	18	33	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5	220	214	53	2	8	13	30	0	/	/	/	/	/	/	/	/
6	209	207	77	2	4	8	20	43	0	/	/	/	/	/	/	/
7	250	243	112	1	6	5	10	34	56	0	/	/	/	/	/	/
8	176	175	86	0	4	0	3	14	19	46	0	/	/	/	/	/
9	172	169	110	0	2	4	2	11	12	28	51	0	/	/	/	/
10	127	126	84	0	0	1	2	3	5	17	22	34	0	/	/	/
11	123	120	77	1	2	3	1	0	4	8	12	16	30	0	/	/
12	120	120	72	0	1	3	1	1	2	7	4	11	16	26	0	/
13	142	132*	95	0	1	0	2	3	3	2	10	9	12	18	35	0
<b>Rt</b>				--	<b>80</b> R <sub>2</sub>	<b>70</b> R <sub>3</sub>	<b>71</b> R <sub>4</sub>	<b>109</b> R <sub>5</sub>	<b>101</b> R <sub>6</sub>	<b>108</b> R <sub>7</sub>	<b>99</b> R <sub>8</sub>	<b>70</b> R <sub>9</sub>	<b>58</b> R <sub>10</sub>	<b>44</b> R <sub>11</sub>	<b>35</b> R <sub>12</sub>	--

Valores: **t** = número de la temporada de muestreo; **ct** = número de individuos capturados en cada muestreo; **lt** = número de individuos liberados en ese muestreo; **rt** = número de individuos recapturados en cada muestreo; de **r1** a **r13** número de individuos recapturados en cada muestreo distribuidos en función de su primera captura. Valores de **Rt** (de R<sub>2</sub> a R<sub>12</sub>) = suma de recapturas marcadas por muestreo; \* valor de la última liberación que no se usa en los análisis. Valores tomados de (Badii et al., 2012).

Para estimar los valores de  $Z_t$  se suman los datos de cada columna, con la excepción del primer dato superior de la columna (marcado en amarillo idéntico al valor  $r_t$ ) colocándose el valor de  $Z_t$  de 2 a 12 en el último renglón, nótese que la numeración de  $Z$  queda corrida en el cuadro, por ejemplo  $Z_2$  queda en la columna de  $r_1$ . Debido a que ningún individuo fue marcado antes del muestreo 1 nunca contarán las sumatorias para  $Z_1$  y tampoco existe valor del último muestreo ya que ningún individuo fue recapturado después del último muestreo, en el ejemplo  $Z_{13}$ .

**Cuadro 8: Individuos marcados y recapturado en muestreos subsiguientes.**

t	ct	lt	Rt	Recapturas por muestreo														
				r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13		
1	54	54	0	0														
2	146	143	10	10	0													
3	169	164	37	3	37	0												
4	209	202	56	5	23	56	0											
5	220	214	53	2	10	23	53	0										
6	209	207	77	2	6	14	34	77	0									
7	250	243	112	1	7	12	22	56	112	0								
8	176	175	86	0	4	4	7	21	40	86	0							
9	172	169	110	0	2	6	8	19	31	59	110	0						
10	127	126	84	0	0	1	3	6	11	28	50	84	0					
11	123	120	77	1	3	4	7	7	11	19	31	47	77	0				
12	120	120	72	0	1	6	5	6	8	15	19	30	46	72	0			
13	142	132*	95	0	1	1	3	6	9	11	21	30	42	60	95	0		
Zt				14	57	71	89	121	110	132	121	107	88	60	--	--		
				Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>10</sub>	Z <sub>11</sub>	Z <sub>12</sub>				

Valores: t = número de la temporada de muestreo; ct = número de individuos capturados en cada muestreo; lt = número de individuos liberados en ese muestreo; rt = número de individuos recapturados en cada muestreo; de r1 a r13 número de individuos recapturados en cada muestreo distribuidos en función de su primera captura. Valores de Zt = número de individuos marcados antes de cada temporada y no recapturados en la temporada, sino después. \* valor de la última liberación que no se usa en los análisis. Valores tomados de (Badii et al., 2012).

A partir del cálculo de los valores de campo, ct, lt y ,rt y los valores calculados de Rt y Zt, se puede calcular el tamaño poblacional Nt para cada muestreo. Para esto necesitan hacerse algunos cálculos adicionales y llenar el Cuadro 9.

El tamaño poblacional  $N_t = M_t / \alpha_t$ , para lo necesitamos saber el valor tanto de  $M_t$  como de  $\alpha_t$ .  $M_t = (l_t Z_t / R_t) + r_t$ . Entonces  $M_t$  en la segunda temporada (t2) será  $M_{t_2} = (143 \times 14 / 80) + 10 = 35.02$  y  $M_t$  en el muestreo 3 sería  $M_{t_3} = (164 \times 57 / 70) + 37 = 170.5$ . Para calcular  $\alpha_t$  se requiere la expresión  $\alpha_t = r_t / ct$ , que es la proporción de recapturas en función de las capturas en una temporada de muestreo. Así,  $\alpha_t$  en el muestreo 2 (t2), será  $\alpha_{t_2} = 10 / 146 = 0.068$  y en el muestreo 3 (t3) será  $\alpha_{t_3} = 37 / 169 = 0.218$ . Ya estimados los valores de  $M_t$  y  $\alpha_t$ , se puede estimar el tamaño poblacional por temporada de muestreo. Así,  $N_t$  para la temporada 2 será  $N_{t_2} = 35.02 / 0.068 = 515$  iguanas; y  $N_{t_3} = 170.5 / 0.218 = 782$  iguanas. El valor de  $N_t$  es muy sensible al valor de  $\alpha_t$  por lo que puede haber diferencias de unos cuantos individuos estimados más o menos dependiendo de la aproximación decimal o centesimal. Por eso hay diferencias en los resultados estimados en el texto y en el Cuadro 3. Hagan la prueba.

**Cuadro 9. Valores poblacionales estimados a partir de los muestreos (en amarillo), los cálculos de los valores auxiliares de los cuadros 1 y 2 (en azul) y nuevos valores (en blanco).**

t	ct	rt	Lt	Rt	Zt	Mt	$\alpha t$	Nt	$\phi t$	$Nt^{\wedge} \phi t$	Nt/ct	V	EE
1	54	0	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	146	10	143	80	14	35.0	0.07	511.4	1.01	519.0	3.5	27301.0	309.2
3	169	37	164	70	57	170.5	0.22	779.0	0.87	675.4	4.6	18975.5	295.7
4	209	56	202	71	71	258.0	0.27	962.9	0.56	542.8	4.6	21905.9	317.7
5	220	53	214	109	89	227.7	0.24	945.3	0.84	790.3	4.3	17353.5	273.1
6	209	77	207	101	121	325.0	0.37	882.1	0.79	697.0	4.2	10232.3	207.8
7	250	112	243	108	110	359.5	0.45	802.5	0.65	522.4	3.2	5961.2	138.3
8	176	86	175	99	132	319.3	0.49	653.5	0.98	643.6	3.7	4103.1	123.4
9	172	110	169	70	121	402.1	0.64	628.8	0.69	431.5	3.7	3946.8	120.1
10	127	84	126	58	107	316.4	0.66	478.4	0.88	423.1	3.8	2627.1	99.5
11	123	77	120	44	88	317.0	0.63	506.4	0.77	390.6	4.1	4335.7	133.6
12	120	72	120	35	60	277.7	0.60	462.9	--	--	3.9	4877.0	137.2
13	142	95	132*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Modelos de perturbación prospectiva.** La mejor manera de establecer un manejo adecuado de las poblaciones es conociendo su dinámica poblacional; es decir, cuántos individuos forman la población, cuántos son hembras, cuántas de ellas se están reproduciendo, cuantas son adultas, cuantas crías tienen y cuantas de esas crías son hembras y cuantas de ellas sobreviven para llegar a reproducirse.

Por lo general la información recopilada en el campo se manipula a través de tablas de vida. Las tablas de vida se incluye básicamente información de las hembras, debido a que la fecundidad es un parámetro que influye directamente en el crecimiento de la población. Para comenzar, la población se agrupa en clases de tamaño o categorías de edad. La manera más fácil es estableciendo rangos de tamaño por categoría de edad asignada; por ejemplo, en crías, juveniles, adultos jóvenes y adultos viejos. Estas categorías dependen de la especie y deben establecerse a priori. Así, los valores serán mas pequeños en *Cachrix* y ctenosauras pequeñas, comparando al resto de las iguanas que tienden a ser mas grandes. En *C. pectinata*, una iguana grande, la clase de crías corresponde a iguanas de 5 a 8 cm de LHC, la clase juvenil de 9 a 26 cm, clase de adultos jóvenes de 26 cm a 30 cm y adultos viejos de más de 30 cm. Los tamaños de estas categorías de edad pueden variar en la misma especie dependiendo de la región, por lo que se deben estimar en cada sitio.

Del número de organismos de cada clase se obtiene el número de hembras que se reproducen y la talla mínima y máxima de las hembras reproductoras, que deben quedar agrupadas en la categoría de adultos jóvenes y adultos viejos. Después, se debe establecer cuantos huevos pone cada iguana de acuerdo en su categoría de tamaño de manera anual. Es normal en reptiles que entre mas grandes sean las hembras, mas huevos se ponen. En el Cuadro 10 se muestran cuatro clases de talla para una población hipotética de iguanas, donde  $X$  son las clases por intervalos de talla,  $N_x$  el número de hembras por clase,  $N$  es la suma total de hembras contadas en el estudio ( $= N_{x1} + N_{x2} + N_{x3} + N_{x4}$ ) y  $h$  el número promedio de huevos por clase. Con esta información se puede calcular  $m_x$  que es el valor de la fecundidad promedio por clase y es igual a la división de  $h/N$ .

**Cuadro 10.** Tabla de vida simple estructurando cuatro categorías de tamaño, tres de ellas reproductivas, con el fin de calcular  $R_o$ , que es la tasa reproductiva neta de la población.  $X$  = clases de edad;  $N_x$  = número de hembras por clase;  $N$  = número total de hembras;  $h$  = número de huevos;  $m_x$  = fecundidad promedio por clases;  $l_x$  = probabilidad de sobrevivencia a la siguiente categoría de edad;  $D_x$  = número de hembras que mueren en la categoría de edad y  $T$  = tiempo en categorías de edad que se requieren para producir una hembra reproductora.

Categorías	$X$	$N_x$	$h$	$m_x$	$l_x$	$D_x$	$l_x m_x$	$X l_x m_x$	
Juveniles	1	62	0	0	1	44	0	0	
Adultos 1	2	18	8	0.444	0.29	2	0.12876	0.25752	
Adultos 2	3	16	8	0.5	0.258	14	0.129	0.387	
Adultos 3	4	2	8	4	0.032	2	0.128	0.512	
<b>N =</b>		<b>98</b>				<b>R<sub>o</sub> =</b>	<b>0.38576</b>	<b>Suma <math>X l_x m_x</math> =</b>	<b>1.15652</b>
								<b>T =</b>	<b>2.9980</b>

En la tabla de vida se puede distinguir a la clase donde se presenta la primera reproducción; es decir, la talla mínima a la que las hembras comienzan a reproducirse (clase  $X = 2$  en el ejemplo) y la talla en la que ocurre la última reproducción (clase  $X = 4$ ). A partir de estos datos se pueden estimar las probabilidades que tiene una hembra de sobrevivir de su nacimiento hasta la siguiente clase de edad ( $l_x$ ). La probabilidad de sobrevivencia de una categoría de edad ( $l_x$ ) se estima dividiendo  $N_x/N$  y el número de hembras que mueren de una clase a la siguiente  $D_x$  se estima mediante la ecuación  $N_x - N_{x+1}$ ,  $D_x$  de la categoría  $X_1$  es igual a la  $N_x$  de la categoría 1 menos la  $N_x$  de la categoría  $X_2$  y así sucesivamente. Estimada la probabilidad de sobrevivencia y el número de muertes de una clase a otra es posible obtener la tasa reproductiva neta ( $R_o$ ) al sumar todos los valores del resultado de la multiplicación de la sobrevivencia ( $l_x$ ) por la fecundidad ( $m_x$ ); así  $R_o = 0.38576$ .

El valor de la tasa reproductiva neta ( $R_o$ ) nos explica cuántas hembras puede producir una hembra a lo largo de su vida. Si el valor de  $R_o = 1$ , nos indica que la población está en equilibrio; si ocurre lo contrario  $R_o < 1$  es indicativo de que la población está disminuyendo,

debido a que las hembras que han salido del área de estudio no son remplazadas. En nuestro ejemplo, el valor de  $R_0$  es muy pequeño, por lo tanto, la población está decreciendo debido a que no hay remplazo de las hembras que mueren, migran o se extraen.

Un valor importante que también aporta la tabla de vida es el tiempo generacional ( $T$ ) que explica el tiempo promedio que tarda una hembra en originar a otra hembra. Este valor se obtiene multiplicando el valor de la clase  $X$  por el valor de  $l_{mx}$  en cada clase, sumando los valores resultantes y dividiendo el total entre el valor de  $R_0$ . En el ejemplo  $T = 2.9980$ , que nos indica que en el ejemplo las hembras tendrán que pasar tres categorías de tamaño en promedio para dar a luz a una cría hembra; o sea los juveniles deben llegar a la categoría 2 y los de la categoría 2 a la 4.

Finalmente, para completar la tabla de vida se calcula la fecundidad del estado específico ( $f_{ij}$ ) que describe el número de crías producidas por clase. En el ejemplo se obtuvieron 83 huevos, 72 para la categoría 3 y 11 para la categoría 4, de los cuales nacieron 63 crías, 56 crías para la categoría 3 y 7 para la categoría 4 (Cuadro 11). Así, Primero se debe obtener el valor promedio de huevos por categoría ( $\bar{N}_h$ ) que es el número de huevos ( $N_h$ ) dividido entre el número de hembras ( $N_x$ ) por categoría. Segundo, se debe obtener el número promedio de crías vivas ( $\bar{N}_c$ ), que se obtiene dividiendo el número de crías vivas ( $N_c$ ) entre el número de hembras ( $N_x$ ) por categoría (Cuadro 11). Tercero, se debe obtener la sobrevivencia de los huevos  $\phi_h$  dividiendo el número total de crías vivas por categoría ( $N_c$ ) entre el número total de huevos por categoría ( $N_h$ ). Finalmente, la proporción de hembras por clase es igual a 0.5 ya que en el ejemplo se asume que la proporción hembras y machos es 1:1. Así, ( $f_{ij}$ ) se obtiene multiplicando el número promedio de huevos ( $\bar{N}_h$ ) por el número promedio de crías vivas ( $\bar{N}_c$ ), por la sobrevivencia de crías ( $\phi_h$ ), por la proporción sexual de hembras ( $PS$ ). La fecundidad del estado específico se refiere al número de crías hembras que sobreviven al nacimiento por hembra adulta en el sitio de aprovechamiento y nos da una buena idea del número de hembras reales que sustituirán a las hembras del área de aprovechamiento, si estas sobreviven al estado adulto.

**Cuadro 11. Valores para el cálculo de la fecundidad del estado específico ( $f_{ij}$ ).  $X$  = clase de edad,  $N_h$  = total de huevos,  $N_c$  = número total de crías,  $\bar{N}_h$  = promedio de huevos,  $\bar{N}_c$  = promedio de crías,  $\phi_h$  = sobrevivencia de huevos,  $PS$  = proporción de sexo (hembras).**

$X$	$N_x$	$N_h$	$N_c$	$\bar{N}_h$	$\bar{N}_c$	$\phi_h$	$PS$	$f_{ij}$
3	16	72	56	4.5	3.5	0.778	0.5	5.4
4	2	11	7	5.5	3.5	0.636	0.5	6.1
Total	18	83	63					

**Análisis de perturbación prospectiva.** Además de las tablas de vida, los análisis de perturbación prospectiva nos permiten reconocer que aspectos de la historia de vida de la población que se analiza tienen más efecto sobre la tasa de crecimiento poblacional. La información más relevante



que se obtiene a partir de dichos modelos es la tasa finita de crecimiento poblacional  $\lambda$  y el valor reproductivo para cada clase o estadio. Las estimaciones de cada tasa vital como el crecimiento, la fecundidad y la sobrevivencia que se obtuvieron de la tabla de vida en el cuadro 10 se acondicionan dentro de un modelo matricial llamado matriz de Lefkovitch que permite clasificar a los organismos por estadio, tamaño, edad y sus combinaciones. Además, permite modelar la permanencia de un organismo en la misma categoría de edad o su transición a la siguiente (crecimiento). A partir de los datos de la población del cuadro 10, trabajando y después del análisis matricial se obtendría la siguiente tabla donde en color rojo aparecen los valores de sobrevivencia, con negro los valores de crecimiento y con azul los de fecundidad. Para detalles metodológicos referirse a Crouse et al. (1987); Caswell (2001) y Páez et al. (2015).

**Cuadro 12. Disposición típica de los valores demográficos en una matriz de Lefkovitch. Valores estimados de sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde). Valores obtenidos a partir de los datos del Cuadro 10.**

Clase	1	2	3	4
1	0.174	0	0.93	2.006
2	0.746	0.759	0	0
3	0	0.111	0.872	
4	0	0	0.039	0.929

Los análisis de perturbación prospectiva predicen las consecuencias de la manipulación de las poblaciones (como puede ser el aprovechamiento) o de los cambios ambientales (por ejemplo, cambio climático o catástrofes) sobre los valores demográficos (crecimiento, reproducción y sobrevivencia) que repercute en la tasa de crecimiento poblacional en cada una categoría de tamaño o clase de edad. Dentro de los análisis prospectivos, el análisis de sensibilidad mide la sensibilidad del crecimiento de una población a ciertos cambios de las tasas vitales. A partir de análisis de sensibilidad se pueden realizar simulaciones de los cambios de una o más tasas vitales y su efecto en la población. Para detalles metodológicos, referirse a Tuljapurkar (1982). El Cuadro 13 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad referentes al Cuadro 12.

**Cuadro 13. Valores de sensibilidad estimados para sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde) del ejemplo del cuadro 10. En amarillo se encierran los valores más altos que indican ser más sensibles a la perturbación. Se observa que la población es más sensible al cambio de la tasa de crecimiento de la clase 2 al pasar a la clase 3 y de la clase 3 al pasar a la clase 4.**

Clase	1	2	3	4
1	0.122		0.093	0.016
2	0.16	0.305		
3		1.058	0.427	
4			0.837	0.145

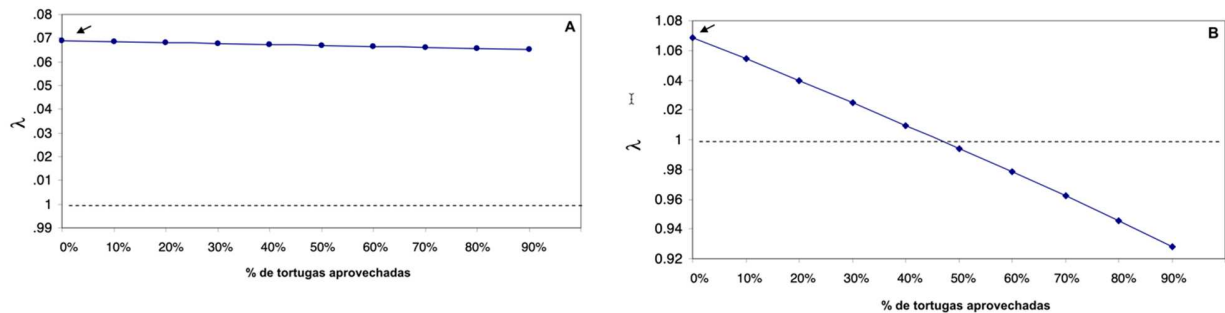
De manera práctica se consideraría que estas dos clases intermedias tienen un gran efecto sobre la tasa finita de crecimiento, ya sea debido a la muerte, migración de los individuos, o aprovechamiento de estas clases. Por lo que, para su uso o conservación se tendrá que poner mayor atención en ambas clases para garantizar la transición de individuos jóvenes a el estado adulto y reproductivo.

El análisis de elasticidad por su parte permite cuantificar el cambio proporcional del crecimiento finito de población por efecto del cambio proporcional en cada categoría, y permite realizar comparaciones relativas entre organismos, poblaciones y especies sobre de las contribuciones de cada valor demográfico al crecimiento poblacional. El Cuadro 14 muestra que la sobrevivencia tiene mayor impacto en las clases dos y tres, por lo que posiblemente los individuos presentan un efecto del entorno que nos permite sobrevivir y crecer para transitar a la siguiente categoría.

**Cuadro 14. Valores de elasticidad estimados para sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde) del ejemplo del cuadro 10. En amarillo se encierran los valores más altos que indican tener más efecto sobre el crecimiento poblacional. La sobrevivencia de las clases 2 y 3 presentan los valores más altos y se recomendaría mantener la sobrevivencia de estas clases con la finalidad de generar más hembras reproductoras que favorezcan el reclutamiento de nuevos individuos y el crecimiento poblacional.**

Clase	1	2	3	4
1	0.018		0.075	0.027
2	0.104	0.201		
3		0.104	0.323	
4			0.028	0.117

Una vez que los parámetros demográficos que más contribuyen a la dinámica poblacional han sido identificados, los cambios en el tamaño de la población a lo largo del tiempo se pueden simular mediante gráficos que predicen el cambio de la tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ ) a partir de un modelo que no presenta tasa de extracción alguna. Como se dijo anteriormente, el crecimiento de la población depende del tamaño de las hembras que entre más grandes producen más huevos, del cambio de edad donde las hembras pasan a ser más grandes, del número de huevos que se producen anualmente, y del número de crías que sobreviven. Así, si el aprovechamiento es sobre los adultos, o las crías o está sujeto a diferentes intensidades, el futuro de la población puede definirse, o bien creciendo, manteniéndose o extinguiéndose. La figura 4, muestra diferentes tendencias de una población de hembras sujeta a diferentes condiciones y tasas de extracción.



**Figura 4. A. Cambio de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional en función del porcentaje de iguanas extraídas en diferentes proporciones en diferentes categorías de edad: (A) sobre organismos muy grandes (clase 4); y B) sobre organismos medianos y grandes (clases 2, 3 y 4). La línea punteada representa a la Lambda que mantiene a la población en equilibrio (sin crecer ni decrecer) debajo de este punto la población tendrá a la extinción. La flecha muestra el valor original de Lambda.**

En el primer caso, (Figura 4 A) aun aprovechándose el 90 % de los individuos más grandes, pertenecientes a la categoría 4, la población mantiene valores de Lambda muy por encima del equilibrio; esto es, no manifestará un decremento poblacional alguno a futuro. Pero, por lo contrario, en un mal manejo, se aprovechan más del 40% de las iguanas del área de aprovechamiento de las categorías de edad 2, 3 y 4, la población tenderá a la extinción. Así, la ventaja de hacer estas proyecciones es que nos permitirá saber con detalle cómo se comportará la población al largo plazo a diferentes tasas de aprovechamiento y nos permitirá enfocar el aprovechamiento directamente a las clases de edad o de tamaño que no repercutan en el crecimiento poblacional.

### Lecturas recomendadas aplicadas al monitoreo de iguanas en vida libre

- Aguirre-León, G. 2011. Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. Manual de Técnicas para el Estudio de la Fauna, 1, 48-65.
- Badii, M.H., A. Guillen, J. Landeros, E. Cerna, Y. Ochoa y J. Valenzuela. 2012. Sampling via Capture-Recapture methods. Daena: International Journal of Good Conscience. 7(1) 97-131.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake. 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman & Hall, London.
- Caswell H. 1978. A general formula for the sensitivity of population growth rate to changes in life history parameters. Theoretical Population Biology, 14(2), 215–230.
- Caswell, Hal. 2001. Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.
- Caswell, H. y Takada, T. 2004. Elasticity analysis of density-dependent matrix population models: The invasion exponent and its substitutes. Theoretical Population Biology, 65(4), 401–411.
- Crouse, D. T., Crowder, L. B. y Caswell, H. 1987. A stage-based population-model for loggerhead sea-turtles and implications for conservation. Ecology, 68, 1412–1423.

- Karant, K. U., A. M. Gopalswamy, N. S. Kumar, S. Vaidyanathan, J. D. Nichols y D. I. MacKenzie. 2011. Monitoring carnivore populations at the landscape scale: Occupancy modelling of tigers from sign surveys. *Journal of Applied Ecology*, 48(4), 1048-1056.
- Kéry, M., G. Guillera-Arroita y J. J. Lahoz-Monfort, (2013). Analyzing and mapping species range dynamics using occupancy models. *Journal of Biogeography*, 40(8), 1463-1474.
- Kéry, M., Gardner, B. y C. Monnerat. (2010). Predicting species distributions from checklist data using site-occupancy models. *Journal of Biogeography*, 37(10), 1851-1862.
- Lemos-Espinal J.A., Rojas-González, R. y Jaime, Zúñiga. (2005). Técnicas para el estudio de poblaciones de fauna silvestre. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala. 157 págs.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. E. Hines, M. G. Knutson y A. B. Franklin. 2003. Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology*, 84(8), 2200-2207.
- MacKenzie, D. I., J. D., Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. Andrew Royle y C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248-2255.
- Medina Mantecón, W 2005. Demografía de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) de la región Nizanda Zapote, Oaxaca y sus implicaciones en la conservación y manejo. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo en la Facultad de Ciencias, UNAM.
- Medina Mantecón, W. 2009. Efectos del cambio en los parámetros demográficos en el crecimiento poblacional de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.
- Medina Mantecón, W., González Monfil, G., Álvarez Ávila, F., Aguirre Hidalgo, V. y V. H. Reynoso. 2004. Tabla de vida de una población de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en Nizanda-Zapote, Oaxaca y sus implicaciones en la conservación de las iguanas. Resumen en extenso. VII Reunión Nacional sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, Universidad del Mar. Puerto Escondido. Págs. 116-122.
- Medina Mantecón, W. y Reynoso, V. H. 2005. Uso de modelos demográficos como estrategias para la conservación de poblaciones silvestres. Resúmenes en extenso de la VIII Reunión Nacional sobre Iguanas, Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Lázaro Cárdenas, Mich. p. 73-76.
- Medina-Mantecón, W., Reynoso V. H. 2008. Explotación sostenida en vida silvestre. Págs. 41-47 en Reynoso, V. H.; Medina Mantecón, W. (eds.). Memorias y Resúmenes en Extenso de la XI Reunión Nacional sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México. Puebla, Puebla.

- Michael, D. R., Ikin, K., Crane, M., Okada, S., y D. B. Lindenmayer. 2017. Scale-dependent occupancy patterns in reptiles across topographically different landscapes. *Ecography*, 40(3), 415-424.
- Orozco Sánchez E. C., Corona Vargas M. C., Matus Velásquez R. A., Martínez Manuel M. L., Álvarez López R., Reynoso Rosales V. H. 2007. Dinámica poblacional de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) durante un ciclo anual en la región de cerró Tortuga en Ixhuatán, Oaxaca. Pág. 56-59. Memorias de la X Reunión Nacional sobre Iguanas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Secretaría del Campo, SEMARNAT, Parque Ecoturístico Cañón del Sumidero, SECTUR, 106 p.
- Pollock, K., Nichols, J., Brownie, C. y J. Hines. 1990. Statistical inference for Capture-Recapture experiments. *Wildlife Monographs*, 107: 3-97.
- Reynoso, V. H. y Medina Mantecón, W. (Eds.). 2010. Programa y Resúmenes en extenso de la XIII Reunión Nacional sobre Iguanas. Hermosillo, Sonora. 13 y 14 de noviembre de 2010. Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento de las Iguanas en México, CEES y Prescott College. 160 págs. Disponible en: <http://www.subcomitedeiguanas.org/publicaciones.htm>
- Rodríguez, P., Ochoa-Ochoa, L. M., Munguía, M., Sánchez-Cordero, V., Navarro-Sigüenza, A. G., Flores-Villela, O. A. y M. Nakamura, M. 2019. Environmental heterogeneity explains coarse-scale  $\beta$ -diversity of terrestrial vertebrates in Mexico. *PLoS one*, 14(1), e0210890.
- Royle, J. A., R. B. Chandler, C. Yackulic y J. D. Nichols. 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 545-554.
- Sánchez, O. 2011. Evaluación y monitoreo de poblaciones silvestres de reptiles. Págs. 83-120, en Sánchez. O., Zamorano, P., Peters, E. y H. Moya (eds.), *Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F.
- Sutherland, W. J. (ed.). (2006). *Ecological census techniques: A handbook*. Cambridge University Press, Cambridge, 143-147.
- Tuljapurkar, S. D. 1982. Population dynamics in variable environments. II. Correlated environments, sensitivity analysis and dynamics. *Theoretical Population Biology*, 21(1), 114-140.
- Urbina-Cardona, J. N., Bernal, E. A., Giraldo-Echeverry, N., & Echeverry-Alcnebra, A. (2015). El monitoreo de herpetofauna en los procesos de restauración ecológica: Indicadores y métodos. Págs. 134-147 en Aguilar Garavito, M y W. Ramírez (eds.), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 134-147.