

1.3. METODOLOGÍA

Los instrumentos de evaluación y monitoreo de los recursos forestales, que permitan hacer compatible la información, requieren un adecuado diseño metodológico. Ello significa estandarizar definiciones y procesos, para lograr que la información sea comparable, se integre de un periodo a otro y asegure la confiabilidad de sus resultados, considerando incluso la periodicidad para la toma de datos y análisis.

Por lo anterior, para el levantamiento de los IEFYS se estableció un diseño de muestreo perfectamente alineado con la metodología del INFYS. De esta manera se garantiza la continuidad en el levantamiento, integración, sistematización y procesamiento de la información, lo que permitirá homogenizar y hacer compatible los datos nacionales con el nivel estatal y de un periodo de muestreo con el siguiente (CONAFOR, 2004).

INTEGRACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA FORESTAL BÁSICA POR ESTADO EN ESCALA 1:50,000

Para generar información actualizada de los recursos forestales se incorporó información cartográfica a escala 1:50,000 de la cobertura de suelo. Esta información se derivó de la clasificación supervisada de imágenes de satélite de la constelación *Rapid Eye* tomadas en los años 2011 y 2012.

La información cartográfica ofrece un detalle de resolución espacial de cuatro hectáreas como unidad mínima cartografiable y un detalle temático de los recursos forestales que permite la planificación y manejo sustentable en cada estado. La cartografía 1:50,000 cumple con los estándares establecidos por el INEGI.

Además permite que la toma de decisiones en cuanto al aprovechamiento y manejo de sus recursos forestales sea más adecuada para evitar la sobreexplotación y la degradación de los ecosistemas.

Información básica:

1. Las imágenes *Rapid Eye*.
2. Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie V (2011) del INEGI.
3. Carta topográfica 1:50,000 del INEGI.
4. Información levantada en campo del INFYS y del remuestreo del mismo así como los conglomerados levantados en campo del IEFYS.

En cuanto a la validación o grado de asertividad y precisión temática, cada carta 1:50,000 le ofrece al lector el grado de asertividad temática del modelo de representación así como elementos adicionales tomados de la carta 1:50,000.

FIGURA 1: Imágenes *Rapid Eye*



TABLA 1: Leyenda utilizada en la cartografía

FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	CLAVE
Coníferas	Bosque de ayarín	BS
	Bosque de cedro	BB
	Bosque de oyamel	BA
	Bosque de pino	BP
	Bosque de táscate	BJ
	Matorral de coníferas	MJ
Coníferas y latifoliadas	Bosque de pino encino	BPQ
	Bosque de encino pino	BQP
Latifoliadas	Bosque de encino	BQ
	Bosque de galería	BG
Bosque mesófilo	Bosque mesófilo de montaña	BM
Selvas altas y medianas	Selva alta perennifolia	SAP
	Selva alta subperennifolia	SAQ
	Selva mediana perennifolia	SMP
	Selva mediana subperennifolia	SMQ
	Selva mediana subcaducifolia	SMS
Selvas bajas	Selva mediana caducifolia	SMC
	Selva baja perennifolia	SBP
	Selva baja subcaducifolia	SBS
	Selva baja espinosa caducifolia	SBK
	Selva baja caducifolia	SBC
	Selva baja espinosa subperennifolia	SBQ
Manglar	Selva baja subperennifolia	SBQP
	Manglar	VM
Otras asociaciones	Selva de galería	SG
	Vegetación de petén	PT
	Palmar natural	VPN
	Palmar inducido	VPI
	Bosque inducido	BI
	Bosque cultivado	BC
	Sabana	VS
	Sabanoide	VSI
Zonas semiáridas	Matorral espinoso tamaulipeco	MET
	Matorral sarcocrasicaule	MSCC
	Matorral sarcocrasicaule de neblina	MSN

FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	CLAVE
Zonas semiáridas	Matorral sarcocaule	MSC
	Matorral submontano	MSM
	Chaparral	ML
	Mezquital desértico	MKX
	Matorral subtropical	MST
	Bosque de mezquite	MK
	Mezquital tropical	MKE
	Vegetación de galería	VG
	Zonas áridas	Matorral crasicaule
Matorral desértico micrófilo		MDM
Matorral desértico rosetófilo		MDR
Matorral rosetófilo costero		MRC
Vegetación de desiertos arenosos		VD
Otras áreas forestales	Popal	VA
	Tular	VT
	Vegetación de dunas costeras	VU
	Vegetación halófila hidrófila	VHH
	Pastizal natural	PN
	Pastizal halófilo	PH
	Pastizal gypsófilo	PY
	Pradera de alta montaña	VW
	Vegetación halófila xerófila	VH
Vegetación gypsófila	VY	
Áreas no forestales	Desprovisto de vegetación	ADV
	Sin vegetación aparente	DV
	Agricultura de humedad	H
	Agricultura de temporal	T
	Agricultura de riego	R
	Pastizal cultivado	PC
	Pastizal inducido	PI
	Zona urbana	ZU
	Asentamiento humano	AH
	Cuerpo de agua	H ₂ O
Acuícola	ACUI	

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

La demanda de información de los recursos forestales exige inventarios forestales estadísticamente confiables. En consecuencia los IEFYS se planificaron mediante un proceso estadístico con unidades de muestreo distribuidas sistemáticamente en el territorio nacional, lo que permitió obtener datos confiables a escala estatal.

La metodología para obtener los datos de estos se fundamenta en la toma de muestras en el campo, que se programan para levantarse anualmente y que incluye la totalidad de la superficie de los estados.

Los datos generados en este periodo proporcionan la información que cumple con los requerimientos globales para la elaboración de criterios e indicadores, la estimación de la biomasa y la captura de carbono, así como de la calidad de los ecosistemas.

Determinación del tamaño óptimo de muestra

La determinación del tamaño de muestra se hizo en función del presupuesto disponible para el proyecto, la variabilidad de la población, la precisión que se desea alcanzar en las estimaciones y la confiabilidad de esas estimaciones.

En la determinación del tamaño óptimo de muestra, para asegurar la inclusión de los elementos descritos en el análisis, se utilizaron los resultados de una consultoría estadística realizada por Rodríguez, 2013.

El ejercicio consistió en utilizar los datos levantados en el INFYS para determinar el valor de volumen total árbol por hectárea, por estrato (bosques, selvas y zonas áridas), por estado y con ellos estimar la variabilidad de la población.

Se establecieron los siguientes rangos para asignar una precisión deseada:

Grupo 1: Valores < 0.05 m³/ha, se estableció un error absoluto de 0.05

Grupo 2: Valores > 0.05 y < 1 , se estableció un error absoluto de 0.1

Grupo 3: Valores > 1 se utilizó un error relativo de 0.1

Con estos criterios se determinó el tamaño óptimo de muestra por estrato para cada entidad considerada en el proyecto.

Muestreo y fase de campo

Para instrumentar y ejecutar los IEFYS se consideraron como insumos una serie de fuentes de información que facilitaron la planeación de actividades y el diseño del muestreo.

La base del diseño de muestreo para los IEFYS fue la carta de uso del suelo y vegetación Serie IV a escala 1:250,000 del INEGI. Para ello se definió, con base a sus objetivos la estratificación para el muestreo de acuerdo al sistema de clasificación de la vegetación utilizado en la cartografía, la superficie, ubicación en los estados y el nivel de importancia ecológica, económica maderable y económica no maderable de cada uno de los ecosistemas vegetales.

El diseño del muestreo fue un Muestreo Estratificado Sistemático por Conglomerados en dos etapas. Para este diseño y la distribución de conglomerados (unidades de muestreo primarias) se dividió el país en regiones cuadrangulares (paneles de 2.5 X 2.5 km), lo que permite una distribución espacial, regular y consistente del total de conglomerados sobre los territorios estatales así como manejar la temporalidad del muestreo en el periodo de tiempo fijado para la etapa del muestreo de campo. Esto en concordancia con la cuadrícula de coordenadas UTM de la cartografía 1:250,000 del INEGI.

Se utilizó el conglomerado integrado por cuatro unidades de muestreo secundarias o sitios. La equidistancia entre conglomerados es de 2.5 x 2.5 km, abarcando los siguientes tipos de vegetación:

- Bosque de coníferas, coníferas y latifoliadas, latifoliadas y bosque mesófilo, así como selvas altas y medianas y manglares.
- Bosque bajo abierto, selvas bajas, matorral subtropical y vegetación semiárida.
- Vegetación de zonas áridas.

La Unidad de Muestreo Primario (UMP), que corresponde al conglomerado, fue conceptualmente una parcela circular de una hectárea (56.42 m de radio), en la cual se evalúan

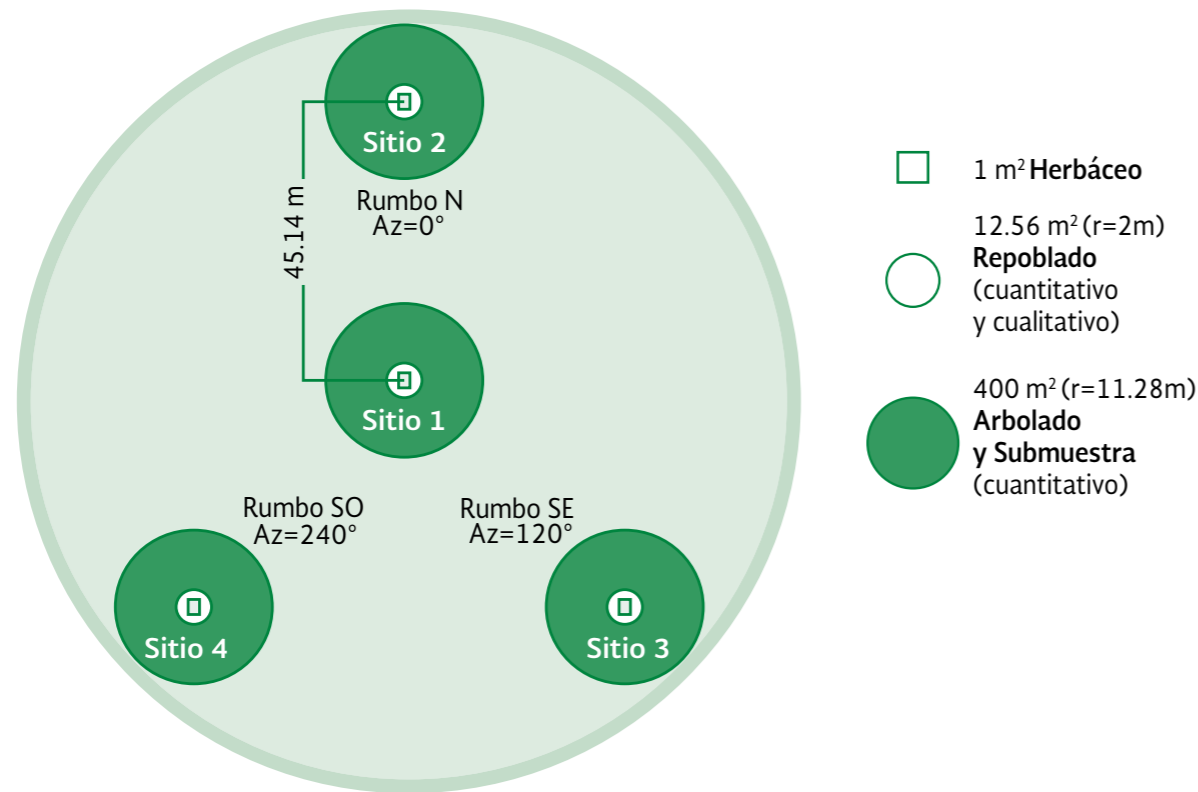
cuatro Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) o sitios, dispuestos geométricamente en forma de una “Y” invertida con respecto al Norte (Figura 2).

La UMS número 1 constituye el centro de la UMP y las UMS 2, 3 y 4 son consideradas periféricas. La separación del centro de la UMS 1 al centro de cada una de las UMS periféricas es de 45.14 m; por otra parte, el azimut para localizar las UMS 2, 3 y 4 a partir del centro de la UMS 1 es de 0°, 120° y 240°, respectivamente.

Variables consideradas

En las UMP se realizan las mediciones y observaciones, el diseño anidado con unidades secundarias o subsitios de muestreo de diferentes dimensiones según el objeto de estudio, lo que permite mejorar la eficiencia de la ejecución de campo.

FIGURA 2: Forma y distribución de las unidades de muestreo secundarias (UMS) o sitios dentro de la unidad primaria (UPM) o conglomerado



El levantamiento de la información en campo se realiza siguiendo un conjunto de pasos interconectados que permiten recabar y procesar ordenadamente los datos de las variables consideradas en los formatos, tal como se describe a continuación:

- En el sitio de 400 m² se mide y registra el arbolado cuyo diámetro normal (DN) a la altura de 1.30 m sobre la superficie del suelo, sea igual o mayor a 7.5 cm. En diseños circulares se presenta un radio de 11.28 m.
- En el subsitio de 12.56 m², se mide y registra por género, la frecuencia y algunas variables cualitativas del repoblado (regeneración natural), cuyas plantas o árboles pequeños tengan como mínimo 25 cm de altura, hasta la altura que alcancen, siempre que su diámetro normal sea menor a 7.5 cm.
- Así mismo, se registran los arbustos representativos de comunidades áridas y semiáridas, e incluso especies invasoras y de pastos nativos o inducidos. Los diseños circulares tienen un radio de 2 m.
- En el subsitio de 1 m², se miden las plantas herbáceas, helechos, musgos, líquenes y otras características de la superficie del suelo presentes en el sustrato.

Las variables levantadas en el IEFYS son de tipo cuantitativo y cualitativo, dependiendo si los valores tienen o no un orden de magnitud natural (cuantitativas) o simplemente un atributo no sometido a cuantificación (cualitativa), recabándose hasta 120 variables en campo.

El levantamiento de variables cuantitativas permite la estimación del volumen maderable, densidad del arbolado, cobertura, edad e incremento medio anual del arbolado (solo para coníferas de los géneros *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Picea* y *Abies*), condición de copa y afectación del arbolado y la regeneración. Mientras que las variables cualitativas proporcionan información respecto a las condiciones del sitio, tales como: rasgos orográficos, altitud, pendiente, fisiografía, uso de suelo, profundidad del suelo, presencia de erosión degradación y su grado de afectación.

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para asegurar la calidad de los datos para la generación de los reportes e informes del IEFYS se requiere una supervisión. Esta es una tarea que brinda certidumbre y se realiza en cada una de las etapas del inventario, desde la planeación hasta la fase final del procesamiento y generación de reportes. Es en la fase de levantamiento de datos en campo y la captura de la información donde la supervisión es lo más rigurosa posible, en virtud que son los principales insumos del sistema y si hay errores en ellos, lo que se genere posteriormente, mantendrá y elevará los mismos.

El muestreo de conglomerados lo realizan empresas externas que la CONAFOR contrata mediante licitación pública. Para garantizar la calidad en la información, en el proceso de licitación se emiten términos de referencia donde se establecen los requerimientos, especificaciones, calendarios y condicionantes. Todos ellos se exigen a las empresas que deseen participar tales como experiencia y perfiles determinados del personal que integrará las cuadrillas de campo. También se elaboran manuales y formatos de campo que indican cómo se deben levantar los datos e imparte capacitación directa a los brigadistas lo que permite enfatizar y puntualizar conceptos, interpretaciones y aclarar cualquier duda respecto de las metodologías a utilizar.

Adicionalmente, se exige a las empresas una supervisión interna permanente de su personal en cuanto al levantamiento físico de datos en campo (que se realicen conforme a lo dispuesto en el manual de campo) y en la fase de captura, de tal manera que los errores sean mínimos o inexistentes. En los términos de referencia se especifica cómo se debe hacer dicha supervisión.

La CONAFOR ha instrumentado un sistema de supervisión de campo externa al proceso de inventario, que consiste en contratar una empresa que levanta 10 % de los sitios muestreados. Se realiza un análisis estadístico de los datos de los conglomerados supervisados comparando los parámetros obtenidos de los datos levantados por la empresa que levantó el inventario con los obtenidos por la empresa supervisora. En los términos de referencia se especifican los rangos de diferencia permitidos para determinar la aceptación o el rechazo del levantamiento inicial.

En la recepción de la información, la CONAFOR, a través de su Gerencia de Inventario Forestal y Geomática, realiza una revisión y cotejo de la información levantada en papel y la misma información digitalizada mediante la “aplicación de captura”, previo a incorporarse a la base de datos del IEFYS. Con este procedimiento se evita ingresar información que haya sido modificada por errores de captura.

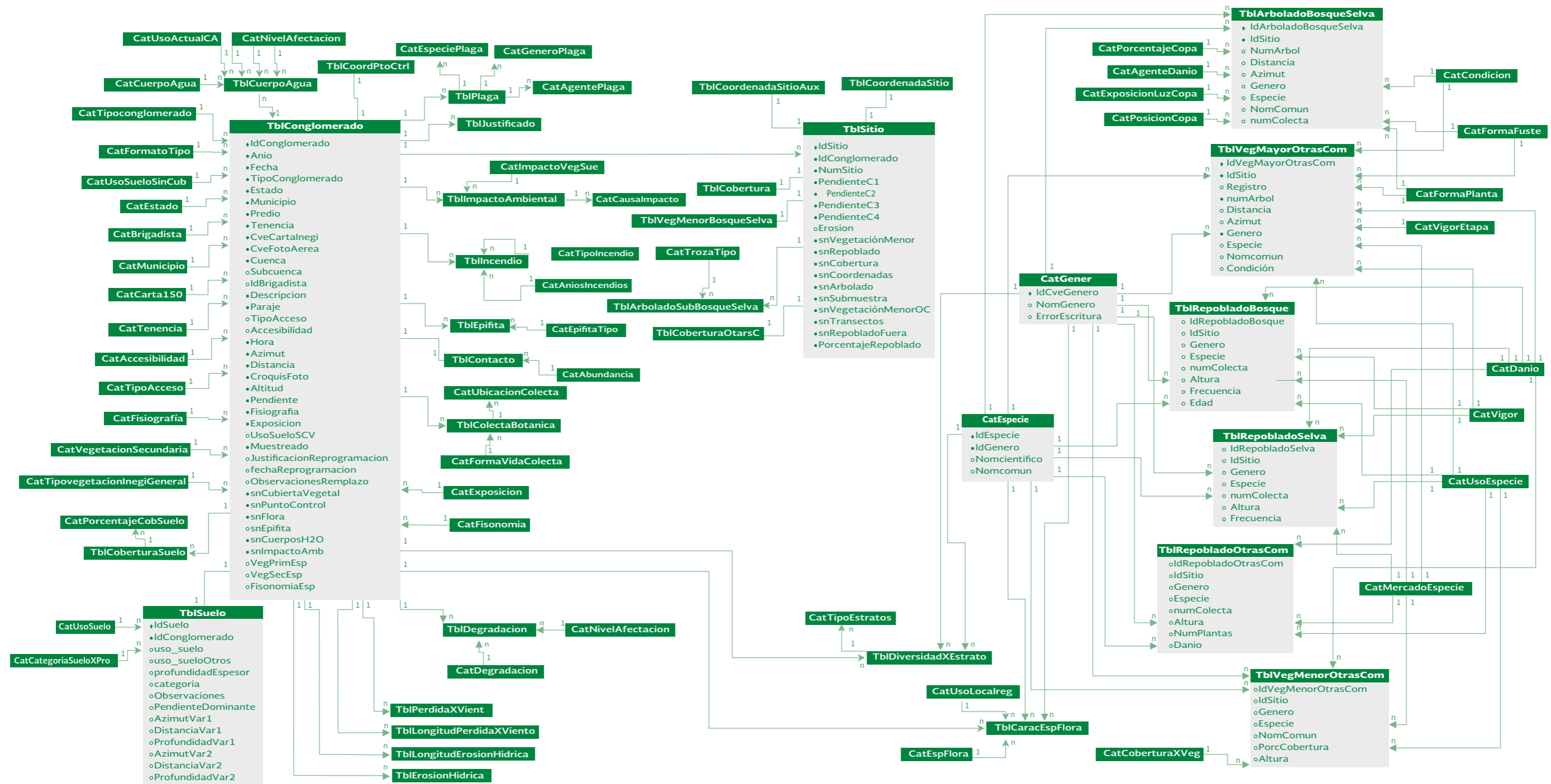
Finalmente, durante el procesamiento de la información se aplican procesos de depuración que permiten reducir el error de estimación final de los parámetros de interés, tales como algunos filtros que se especifican en la metodología de cálculo.

Base de datos

La base de datos del IEFYS es la fuente de información primaria para reportar estadísticas de la condición forestal de los ecosistemas con una visión nacional. Su diseño y estructura se basan en un modelo conceptual de Entidad-Relación por la flexibilidad que brinda para el manejo de datos complejos. Este modelo permite mantener una independencia lógica y física de los datos, ayuda a evitar la redundancia de información, propicia resguardar la integridad y calidad de los datos, así como realizar consultas complejas optimizadas, entre otras cosas.

Las tablas de la base de datos se relacionan entre sí a través de claves o identificadores únicos; estas almacenan los campos (atributos) y registros (entidades) en columnas y filas, respectivamente, de las variables cuantitativas y cualitativas recabadas en campo.

FIGURA 3: Diagrama relacional de la base de datos del IEFYS versión 2013



Para la base de datos del INFYS 2009-2013 y la base de datos del IEFYS, existen dos tablas que conforman el núcleo principal de la estructura del diagrama de Entidad-Relación del cual dependen las demás tablas: la tabla *TblConglomerado* y la tabla *TblSitio*.

La primera almacena los atributos generales del conglomerado o UMP. Cuenta con un identificador único (llave primaria) denominado *idConglomerado*, mediante el cual se vincula con las demás tablas que contienen información recabada a nivel de conglomerado.

La segunda almacena los atributos de la información recabada en cada sitio o UMS. La llave primaria e identificador único de esta tabla es el campo llamado *idSitio*, a través del cual se vincula con las tablas que registran la información específica de la vegetación encontrada en el área (400 m²) de cada uno de los cuatro sitios del conglomerado. En el caso de que

los cuatro hayan sido accesibles, de lo contrario, no se registra información de aquellos a los que no se pudieron acceder.

En la Figura 4 se muestra el número de variables que contiene cada una de las 33 tablas de trabajo.

Además en la base de datos se cuenta con 59 tablas secundarias tipo catálogo, que a su vez se encuentran relacionadas con otras tablas de trabajo.

Los datos recabados y llenados en campo en formato de papel impreso para después ser capturados mediante una aplicación desarrollada en *Microsoft Access*, se denominan "Cliente de captura". Cada módulo de aplicación contiene características acordes a la planeación del inventario en cada fase, así como distintas validaciones y controles automatizados de calidad con parámetros preestablecidos implementados en cada una de las secciones con la finalidad de minimizar el error de captura.

Esta aplicación contiene un módulo de captura para el formato de bosques, uno para el de selvas y otro para el de comunidades áridas y semiáridas, con secciones y objetos dispuestos en el mismo orden que el formato impreso, los cuales permiten agregar expedientes completos de conglomerados, editarlos y eliminarlos con la ayuda de un objeto de búsqueda que facilita su localización. Así mismo, cuenta con un módulo adicional para cada tipo de formato que permite visualizar o imprimir, en forma de reporte, la información capturada para su revisión.

Otra de las características de la aplicación es el nuevo módulo "Colecta" que permite el registro e impresión en forma de reporte de las colectas botánicas.

FIGURA 4: Número de variables por tabla de trabajo

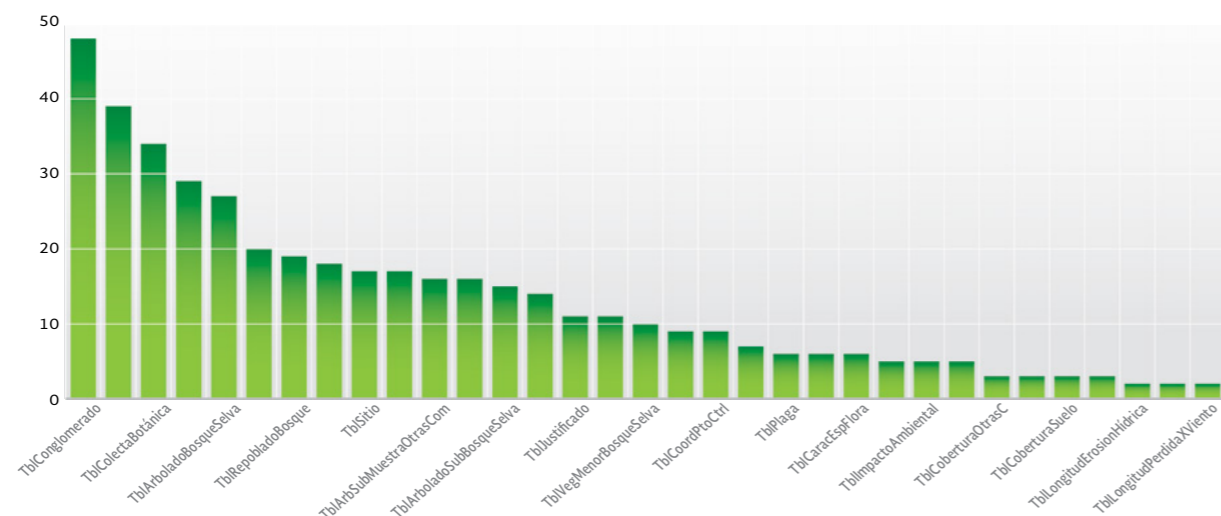


FIGURA 5: Pantalla principal del sistema de captura Access



Existen datos predefinidos, tomados del conjunto de datos vectoriales de las cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI serie III y IV, escala 1:250,000 que se cargan automáticamente en la aplicación con el objetivo de proporcionar información adicional de la ubicación y tipo de vegetación esperada para cada conglomerado.

Con la finalidad de que la captura de la información se lleve a cabo en varias computadoras y agilizar dicha labor, se dispuso un módulo adicional que permite la importación de conglomerados capturados en otros clientes para conjuntarla para su entrega final. Este módulo se encarga de validar el contenido de las tablas y los registros asociados al conglomerado, rechazando la importación en caso de que la información esté incompleta o sea inválida. Cuando el registro existe previamente en la base de datos destino, el usuario tiene la opción de reemplazar el registro original con el nuevo registro o eliminar los registros repetidos que no se desea sobrescribir.

Las empresas encargadas de realizar el muestreo en campo, entregan los expedientes de los conglomerados en los dos formatos, impreso y digital. Éstos los revisa personal

de la Gerencia de Inventario Forestal y Geomática, quien coteja el contenido entre los dos formatos y corrobora su congruencia y consistencia regresando los expedientes con inconsistencias para su revisión, corrección y reentrega. El destino final de la información de los conglomerados aprobados es un sistema de administración de bases de datos relacionales (RDBMS, por sus siglas en inglés) *Microsoft SQL Server*, donde se concentra, gestiona y almacena, en un servidor central, la base de datos del INFYS, para su mantenimiento y explotación.

La exportación entre el cliente y el servidor se realiza a través de una aplicación intermedia que funge como puente de unión entre las estructuras de las dos bases de datos, la de origen y destino. Esta aplicación realiza una auditoría de calidad a la información de los registros de cada una de las tablas de la estructura de origen con el fin de filtrar los errores e inconsistencias que no se detectaron en la primera fase de revisión y reforzar la calidad e integridad de la información que se almacena en la base de datos del servidor.

FIGURA 6: Proceso de exportación de la información a su destino final



Este RDBMS cuenta con un sistema robusto de seguridad que soporta el acceso simultáneo de múltiples usuarios. Aquí, la información se manipula y extrae a través de consultas desarrolladas en Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL por sus siglas en inglés) por medio de comandos y sentencias con sintaxis estandarizadas, que permiten realizar un rápido procesamiento de los datos para su reporte final.