

Estimación de la captura de CO₂ por vegetación

Miguel Caldera
Antonio Martyniuk
Facundo Méndez

Proyecto de grado presentado en Facultad de Ingeniería de la
Universidad de la República

En cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención
del título de Tecnólogo en Cartografía

Tutor/es
Carlos Andrés Chiale
Lucía Boccardi

Tribunal
Luis Calderón
Hebenor Bermúdez
Bruno Silveira

Montevideo, Uruguay
2024

Agradecemos profundamente a nuestros tutores de proyecto Lucía Boccardi y a Carlos Chiale por el apoyo en el seguimiento de este trabajo, principalmente por la dedicación brindada y por estar siempre pendientes en el transcurso del trabajo. Por otra parte, agradecer a Hebenor Bermúdez y Gabriela Fernández quienes fueron los coordinadores de carrera y siempre estuvieron pendientes para el mejor seguimiento de la carrera.

También particularmente agradecerle a nuestras familias y compañeros de curso que no dejaron de creer en nosotros, brindándonos su apoyo a lo largo de nuestra carrera.

Tabla de contenidos

Índice de Tablas	5
Índice de figuras	5
Resumen	7
Introducción	8
Antecedentes.....	8
Relevancia de la investigación	10
Efecto Invernadero	10
Las principales emisiones de CO2 del Uruguay	12
Motivación	14
Impacto del cambio climático.....	15
Consecuencias del efecto invernadero.....	15
Problema	16
Justificación	18
Objetivo general	19
Objetivo específico	19
Metodología a aplicar.....	19
Estimación del cálculo:	22
Metodología aplicada.....	25
Etapas 1: Escritorio	26
Abordaje del tema	26
Área de estudio	26
Software	27
Pasos esenciales en la gestión de proyectos SIG	28
Principios del QField.....	30
Base de Datos	32
Etapas 2: Campo.....	33
Vuelo con el Dron	33

Criterios para el relevamiento de los árboles y arbusto para el cálculo de la biomasa y estimación del CO ₂ almacenado	35
Relevamiento de los árboles y arbustos	38
Reconocimiento de las especies de los árboles y arbustos.....	39
Carga de la base de datos.....	40
Etapas 3: Oficina	40
Procesar las imágenes obtenida por el Drone:.....	40
Procesamiento el Shapefile de los árboles y arbustos relevados:	42
Extracción de los datos de las imágenes procesadas:	43
Registro de los datos y organización de la base de datos:.....	45
Estimación del cálculo:	45
Limitantes en el alcance del trabajo:	49
Resultados.....	50
Cronograma de actividades.....	53
Conclusión.....	55
Glosario	57
Bibliografía.....	59
Anexos.....	62
Inventario y salida de mapa de cada sector	63
Cartografía.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1: Constancia de los distintos parámetros de cada vuelo. (Fuente: Elaboración propia).....	34
Tabla 2: Cálculos de estimación. (Fuente: Elaboración propia).....	35
Tabla 3: Tasa de crecimiento del diámetro. (Fuente: Elaboración propia).....	47
Tabla 4: Cantidad de ejemplares por sector. (Fuente: Elaboración propia).....	50
Tabla 5: Resultado de la estimación acumulada y estimación anual. (Fuente: Elaboración propia).....	51
Tabla 6: Toneladas absorbidas acumuladas de CO ₂ . (Fuente: Elaboración propia).	51
Tabla 7: Cronograma de actividades. (Fuente: Elaboración propia).....	53

Índice de figuras

Figura 1: Representación del ciclo del CO ₂ (NASA, 2024).	11
Figura 2: Regiones de Nueva Aquitania, Euskadi y Navarra. (Fuente: Elaboración propia).	20
Figura 3: Etapas y diagrama de flujo de la metodología Metodología. (Fuente: Elaboración propia).....	25
Figura 4: Ciclo de vida del CO ₂ en el ambiente. (Compensa Forest, 2024).	26
Figura 5: Salida de mapa del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia).	27
Figura 6: Herramientas GIS usadas. (Fuente: Elaboración propia).	28
Figura 7: Imagen de la aplicación de Qfield. (Fuente: Elaboración propia).	31
Figura 8: Vuelo de dron. (Fuente: Elaboración propia).	33
Figura 9: Planificación de vuelo. (Fuente: Elaboración propia).....	34
Figura 10: Procesamiento de las imágenes del dron. (Fuente: Elaboración propia).	36
Figura 11: Uso de la mira topográfica.....	36
Figura 12: Implementación del DAP. (UNAM, 2018).	37
Figura 13: Sectores del predio LATU. (Fuente: Elaboración propia).	38

Figura 14: Aplicación de Pinture This. (Fuente: Elaboración propia).....	39
Figura 15: Imagen de la APP Qfield usada en campo. (Fuente: Elaboración propia).	40
Figura 16: Proceso del MDT. (Fuente: Elaboración propia).....	41
Figura 17: Muestra de imagen del procesamiento inicial del Software. (Fuente: Elaboración propia).....	42
Figura 18: Puntos de Qfield en ArcGIS. (Fuente: Elaboración propia).	43
Figura 19: Tabla de atributos de cada árbol y arbusto obtenido. (Fuente: Elaboración propia).....	43
Figura 20: Modelo digital de superficie. (Fuente: Elaboración propia).	44
Figura 21: Corrección de la tabla de atributos. (Fuente: Elaboración propia).	45
Figura 22: Cálculo de absorción de CO ₂ . (Fuente: Elaboración propia).	46
Figura 23: Cálculo de absorción de CO ₂ acumulado 2024. (Fuente: Elaboración propia).	48
Figura 24: Árboles y arbustos en los sectores del LATU. (Fuente: Elaboración propia).	50
Figura 25: Visualización del KMZ. (Fuente: Elaboración propia).	52
Figura 26: Sector 1 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	63
Figura 27: Sector 2 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	65
Figura 28: Sector 3 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	67
Figura 29: Sector 4 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	69
Figura 30: Sector 5 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	71
Figura 31: Sector 6 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	72
Figura 32: Sector 7 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).	73

Resumen

Uno de los mayores desafíos que se enfrentan los países es el **cambio climático**, una de las estrategias para atenuar las concentraciones de CO_2 en la atmósfera es por medio de la vegetación, debido a que estas, a través de la **fotosíntesis** juegan un papel crucial en la reducción de CO_2 .

El objetivo principal de este trabajo consistió en generar una metodología donde a partir de un relevamiento se puedan aplicar fórmulas para poder cuantificar la estimación de absorción de CO_2 de los árboles y arbustos.

Se realizó una instancia de validación de la metodología de captura de CO_2 por parte de la vegetación con una zona de estudio, en donde se debieron identificar y determinar cuáles son las especies para así determinar su capacidad de captura. También, se realizaron y utilizaron fórmulas específicas para el cálculo de absorción de CO_2 almacenado en el tiempo de vida de los árboles y arbustos. Además de poder validar dicha metodología de **cuantificación** de absorción por toneladas anuales con un caso de estudio teniendo el predio del LATU como zona elegida.

La importancia de este proyecto radica en promover la mejora del aire y el fortalecimiento de los ecosistemas locales. De igual manera, generar una fuente de información que pueda ser utilizada a futuro en otras investigaciones y, al tiempo de producirse nuevo conocimiento, aportar información para el desarrollo de la disminución de CO_2 en el planeta.

Introducción

El presente proyecto ha tenido como objetivo aplicar y validar una metodología para poder cuantificar la **capacidad de absorción** de carbono (CO₂), en este caso se usará como caso de estudio las distintas especies de arbustos y árboles ubicados en el predio principal del LATU. Este lugar, al presentar tanta diversidad de especies, ha brindado una oportunidad para estudiar y evaluar cómo contribuyen al proceso de mitigación del cambio climático mediante la captura del dióxido de carbono.

A través del proceso de la fotosíntesis, los árboles capturan CO₂ de la atmósfera y lo almacenan en su **biomasa**, contribuyendo de forma significativa a la reducción de la huella de carbono global. Existen metodologías validadas previamente con el fin de establecer un procedimiento para la medición de carbono absorbido por la vegetación. Con los datos obtenidos en el estudio, se pueden diseñar estrategias para contribuir a la mitigación del cambio climático, y un seguimiento de emisiones de años anteriores mediante el factor de crecimiento. Asimismo, la información obtenida en el marco del proyecto adquiere potencialmente relevancia como insumo para una de las instituciones nacionales de prestigio en la materia, como el Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU).

Antecedentes

Aunque Uruguay sea de los países que menos emite emisiones globales, ha tomado un rol activo en la mitigación del cambio climático a través de la implementación de normativas, como el decreto N° 310/017 y la promoción de herramientas y bonos a las empresas tanto del ámbito público como privado. Esto refleja el compromiso del país en la búsqueda de un desarrollo bajo en carbono.

“La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) adoptada en 1992, que entró en vigor en 1994 y El Protocolo de Kioto, que desarrolla y dota de contenido concreto las prescripciones genéricas de la Convención. La Convención, ratificada por 196 países, tiene como objetivo último lograr una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir perturbaciones peligrosas de carácter antropogénico en el sistema climático. Por otro lado, el Protocolo de Kioto, adoptado en 1997 establece, por primera vez, objetivos de reducción o limitación de emisiones de gases de efecto invernadero legalmente vinculante para los principales países desarrollados y con economías en transición. Los sumideros son objeto de atención tanto en la Convención de Cambio Climático como en el Protocolo de Kioto. De manera resumida: En la Convención Marco de Naciones

Unidas para Cambio Climático, las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura se incluyen como un sector más, que puede contribuir a la mitigación del cambio climático o a su empeoramiento, dependiendo de las políticas y medidas de lucha contra el cambio climático que se apliquen en dicho sector para lograr el objetivo último de dicha Convención.”(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

“El cambio climático es la mayor amenaza que debe superar la especie humana para sobrevivir como tal. Las consecuencias de no reaccionar ante esa amenaza, así como de hacerlo tardía, errónea, o insuficientemente, serían demasiado graves e irreversibles. Frases como ésta son las que escuchamos diariamente en boca de toda la sociedad. Es por este motivo que el tema despertó nuestro interés y consideramos que la humanidad debe reaccionar a tiempo y debe tomar conciencia de su importancia debido a sus consecuencias muy significativas, desde varios puntos de vista.” (CORIA, DALVA y PAGOLA, 2011).

En Uruguay en el **Decreto N° 310/017** se mencionan las emisiones y las mitigaciones de las emisiones de gases de efecto invernaderos además de las regulaciones, ajustes y Estándares de emisión. Este decreto determina un marco normativo esencial con el objetivo de regular las emisiones de GEI en el país. Este aborda aspectos claves como la identificación de sectores emisores, establecer límites de emisión para contaminantes específicos como el CO₂, CH₄, N₂O y promover tecnologías limpias y prácticas sostenibles. (URUGUAY, 2017).

Relevancia de la investigación

Efecto Invernadero

Es necesario comprender que el sol es la principal fuente de energía del planeta Tierra (mediante radiación solar). Ésta es la encargada de atravesar la atmósfera para llegar a la superficie terrestre (generando un calentamiento). La Tierra una vez absorbida dicha radiación comienza a transmitir calor al espacio mediante la radiación. No obstante, parte de la energía emitida es absorbida por gases en la atmósfera, radiando el mismo en todas direcciones. Estos gases que pueden absorber y retransmitir parte de la radiación, son conocidos como gases de efecto invernadero, que, en el caso de no existir, provocan que la superficie terrestre estuviese 32°C por debajo de la temperatura actual.

“Algunos componentes permanentes de la atmósfera son gases de efecto invernadero. Es el caso del vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃). Todos ellos se encuentran en escasas o minúsculas proporciones en la atmósfera”. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

“El estado por medio de la Dirección Nacional de Cambio Climático lleva adelante una estrategia de vinculación y diálogo con el sector privado para identificar las herramientas más efectivas y ajustadas a la realidad nacional que contribuyan a que los modelos de negocio incorporen la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación) y el aumento de capacidades para responder en términos de riesgos y oportunidades al cambio climático (adaptación). Indicando un modelo y una guía para realizar la estimación”. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

“Impulsa Industria en alianza con la Dirección Nacional de Cambio Climático (DINACC) del Ministerio de Ambiente, llevó a cabo un evento de gran relevancia para el sector industrial. Bajo el título «Introducción y relevamiento de interés en Huella de Carbono», la actividad reunió a más de 50 representantes de empresas y gremiales industriales en el Club de los Industriales”. (CIU, 2024).

Por lo expuesto anteriormente, se consideró que es un tema relevante, debido a que el mismo trata del total de emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales son provocados por las personas, organizaciones y actividades de un producto a lo largo de un ciclo de vida.

“El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las

actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. (GEOINNOVA, 2024).

A continuación, en la figura 1 se muestra la representación del ciclo del CO₂.



Figura 1: Representación del ciclo del CO₂ (NASA, 2024).

“En términos globales, Uruguay es responsable únicamente del 0.04% de las emisiones globales. No obstante, a nivel local, según estimaciones del inventario nacional realizado por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente con participación del Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM) y el MGAP, alrededor del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero corresponden al sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (Afolu, por sus siglas en inglés)”. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

En Uruguay el INGEI (Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) es la base para el desarrollo de políticas y medidas de mitigación a nivel nacional y para el desarrollo bajo en carbono.

Las principales emisiones de CO₂ del Uruguay

1. **“El sector Energía** incluye las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles (derivados del petróleo y gas natural) en el país, así como las emisiones fugitivas de los combustibles (emisiones provenientes de descargas accidentales, fugas de equipos, pérdidas en la carga de tanques, quema en antorcha, fugas en ductos, pérdidas en almacenamiento, venteo, y todas las demás emisiones directas excepto aquellas debidas al uso de combustibles). A su vez, aparecen otras partidas, que si bien no se contabilizan en los totales del sector se presentan a modo informativo. Estas corresponden a las emisiones procedentes de los bunkers internacionales (combustible consumido en el transporte internacional, tanto marítimo como aéreo) y a las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de biomasa para generación de energía. Transporte es históricamente la principal categoría responsable de emisiones de CO₂, superado solamente por la categoría Industrias de la Energía en aquellos años de bajos niveles de energía hidráulica y su consecuente mayor consumo de combustibles fósiles para la generación”. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).
2. **“En el sector Procesos Industriales y Uso de Productos** se abordan las emisiones de GEI provocadas por los procesos industriales, por el uso de GEI en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles. Las emisiones por el consumo de energía durante el proceso industrial son consideradas dentro del Sector Energía. Las principales fuentes de emisión son los procesos industriales que transforman materias primas por medios químicos o físicos, liberando GEI. En Uruguay la producción de cemento y cal representan la mayor proporción de emisiones de CO₂ de este sector”. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).
3. **“En el sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra** se consideran las emisiones de GEI originadas en las actividades y prácticas agropecuarias, así como las emisiones y remociones de CO₂ por el uso y los cambios en el uso de la tierra. En Uruguay las principales emisiones de este sector son el CH₄ proveniente de la fermentación entérica del ganado, las emisiones de N₂O de suelos manejados y, en menor medida, las emisiones de CH₄ del cultivo de arroz. En lo que respecta a las remociones de CO₂, estas han superado a las emisiones de CO₂ a lo largo de prácticamente toda la serie histórica y surgen como el resultado de los cambios en las existencias de carbono en tres reservorios distintos; biomasa viva, materia orgánica muerta y carbono orgánico en el suelo, para todas las tierras. El

sector AFOLU aporta el mayor porcentaje con respecto a las emisiones nacionales determinadas por ambas métricas, pero el GEI prevalente difiere, siendo el CH₄ de acuerdo a GWP-100AR5 y el N₂O utilizando GTP-100 AR5". (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

4. **"El sector Desechos** comprende la estimación de emisiones de CH₄, N₂O y CO₂. El CH₄ es originado a través de un proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos, del tratamiento biológico de residuos, así como también en las aguas residuales tanto domésticas y comerciales como industriales. Las emisiones de N₂O provienen del excremento humano y ocurren cuando éste se descarga en cursos de agua o cuando es procesado en fosas sépticas o sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además, se estiman las emisiones de N₂O en las incineraciones y el tratamiento biológico de residuos. Las emisiones de CO₂ provienen de la quema de residuos". (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

"En Uruguay, la disposición de residuos sólidos representa la mayor proporción de emisiones de CH₄ de este sector". (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2024).

"En diciembre de 2018 se publicó la norma internacional Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (ISO 14064-1:2018)". ISO 14064-1:2018 y en 2019 se publicó la traducción al castellano de la norma europea de Gases de efecto invernadero UNE-EN ISO 14064-1:2019.

Las empresas interesadas en aplicar la norma, la cual no es obligatoria, deben cumplir con:

- *Documentar y aplicar un proceso para determinar qué emisiones indirectas va a incluir en su inventario de GEI.*
- *Identificar y evaluar sus emisiones indirectas de GEI para seleccionar las significativas.*
- *Definir los criterios que ha utilizado para evaluar porque son significativas determinadas emisiones indirectas.*
- *Cuantificar e informar las emisiones indirectas significativas.*
- *Justificar las exclusiones de emisiones indirectas significativas*

La Norma UNE-EN-ISO 14064-1:2019 es aplicable desde 2022". (GEOINNOVA, 2024).

Por ser un país ganadero, según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la cría y alimentación de animales para consumo humano es responsable del 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, siendo el metano el gas principal que se emite en esta actividad. (Ministerio de Ambiente, 2024).

Motivación

La **ley N°18.308** de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible, establece un uso regulado del uso del suelo que prioriza un desarrollo territorial equilibrado y sostenible. El enfoque de esta ley es primordial para este proyecto porque avala la regulación del uso del suelo priorizando un desarrollo territorial sostenible. La ley al contemplar los desafíos sobre el cambio climático, logra fomentar la colaboración tanto público como privada para mejorar la gestión responsable de los espacios, lo que respalda el tipo de proyectos como el nuestro sobre la evaluación de los aportes de los árboles y arbustos sobre la captura de carbono y la mitigación del impacto ambiental. (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2008).

A nivel nacional, existen herramientas de cálculo para estimar la emisión de CO₂ (establecidas en el Ministerio de Ambiente), pero no hay una herramienta sobre el cálculo de absorción de CO₂. Es por este motivo que se consideró de suma importancia aplicar una metodología que permita cuantificar la absorción de CO₂ de árboles y arbustos. Este método podría ser aplicado, por las empresas, como una herramienta de estimación y los datos obtenidos podrían ser utilizados para comparar con las estimaciones de emisión generada. De esta manera se podría tener una estimación anual de la absorción de CO₂ en el área determinada (Para el presente caso de análisis, en el predio del LATU).

Aplicando esta metodología, se contribuye al cuidado del ambiente, debido a que proporciona información valiosa para los tomadores de decisiones, permitiendo así implementar medidas para reducir las emisiones de CO₂ y, de esta manera, disminuir la huella de carbono. Además, las empresas que obtienen certificación de huella de carbono están contribuyendo al ecosistema ayudando de esta forma con la mitigación del CO₂.

Impacto del cambio climático

“Las consecuencias del calentamiento global serán variadas, en magnitudes y alcances (escala espacial y temporal) y se están tratando de precisar mediante investigaciones, estudios y evaluaciones a cargo del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Este órgano fue creado con esos objetivos por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988. De lo impactos previstos del cambio climático se señalan: modificaciones en las circulaciones atmosférica y oceánica (global y regional), incremento del nivel medio del mar, cambios en: producción agrícola, ecosistemas terrestres, marinos y costeros, recursos hídricos, regímenes de precipitaciones, humedad del suelo, silvicultura, asentamientos humanos, salud humana y animal y recursos energéticos”. (Ministerio de Ambiente, Dirección Nacional de Cambio Climático, 2020).

Consecuencias del efecto invernadero

“Cuanto mayor sea el cambio climático, más se verá amenazado el equilibrio de nuestros ecosistemas. Así, un aumento de la temperatura media terrestre de más de 1,5°C conduciría a fenómenos climáticos extremos que tendrían un impacto directo en fenómenos como:

- El derretimiento de los hielos.*
- El aumento del nivel del mar y la inundación de ciudades costeras.*
- La proliferación de huracanes devastadores.*
- La migración forzada de ciertas poblaciones y especies.*
- La desertificación de zonas fértiles y su impacto en la agricultura y la ganadería”. (Selectra, 2024).*

El sector empresarial en Uruguay juega un rol clave en la reducción de emisiones de carbono, con el objetivo nacional de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050. Este enfoque muestra cómo las iniciativas de empresas locales pueden apoyar los esfuerzos de mitigación del cambio climático, implementando prácticas sostenibles y de eficiencia energética. Esto respalda la relevancia de nuestro trabajo en el estudio de la capacidad de absorción del LATU, sumando conocimientos aplicables en múltiples sectores para alcanzar metas sostenibles. Sumando los beneficios de tener emisiones 0 con apoyo de bonos verdes.

“Su empresa puede participar en el plan de Uruguay para llegar a cero emisiones de carbono netas. Así es cómo:

- 1. Prometer - Comprometerse como organización a convertirse en cero netos para 2040.*
- 2. Planificar - Antes de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021, también conocida como COP 26, programada*

del 1 al 12 de noviembre en Glasgow, Reino Unido, planifique sus pasos para alcanzar cero emisiones netas en el corto y mediano plazo y establezca objetivos para la próxima década.

3. Proceder - Tome medidas ahora para lograr objetivos intermedios específicos.

4. Publicar - Comprometerse a informar su progreso al menos una vez al año en el Portal de Acción Climática Global de la CMNUCC". (Villegas, 2021).

Problema

En el país se evidencia muy fuertemente el impacto del fenómeno de El Niño, principalmente en la primavera y en el otoño, incrementando la probabilidad de que las lluvias ocurridas sean de mayor magnitud respecto a datos históricos para esas épocas del año.

"En paralelo, en años de predominio de La Niña, el país sufre prolongadas y profundas sequías. Estas amenazas de origen natural, en interacción con la exposición y vulnerabilidad social, han ocasionado múltiples impactos sobre las poblaciones, las infraestructuras, los ecosistemas, la biodiversidad y muy especialmente sobre el sector agropecuario". (Ministerio de Ambiente, 2024).

"El fenómeno del cambio climático, que se traduce en un aumento de la temperatura media, modificaciones en la frecuencia de las precipitaciones, aumento del nivel del mar, mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos, cambios en la matriz energética, modificaciones en la calidad y el uso del suelo y problemas en la disponibilidad de agua, entre otros, es uno de los más grandes desafíos que enfrenta la humanidad." (CEPAL, 2024).

"Las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero en el Sector Agropecuario del Uruguay se comentarán los resultados de los inventarios nacionales de emisiones de tres GEIs (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso), enfatizando especialmente las actividades concernientes a los sectores agropecuario y forestal." (IPCC, 1996).

La principal fuente emisora de CO₂ proviene del uso de combustibles fósiles en la vida cotidiana, está tan incorporado el uso que no se tiene en cuenta de la cantidad de CO₂ que genera, un ejemplo es el uso del medio de transporte para ir a trabajar, también el caso en invierno cuando se encienden las estufas para calentar la casa. Además, el cambio del uso de la tierra en donde se remueve toda la vegetación nativa y bosques realizando deforestación y quema para la producción agrícola generando mayor emisiones y menor absorción de CO₂, trae consecuencias negativas con el balance de los ecosistemas y del planeta.

Esto, sin mencionar la mayor emisión por el uso de agroquímicos que se fijan en los cultivos y suelos. La importancia de mantener los ecosistemas existentes y no realizar la explotación de maderas de alto valor, en este proceso de talar árboles o arbustos que pueden tener más de 100 años de crecimiento, en donde su existencia tiene un valor importante con respecto a la reducción de CO₂, con la ejecución de estos procesos estamos entre un 15 y 20% de emisión entre lo agrícola a nivel mundial y cada día va más en crecimiento. Corresponde mencionar que estos actos son negativos y son generadores del cambio climático, así como los gases de efecto invernadero. Es importante mencionar que la destrucción de los ecosistemas afecta también a la biodiversidad trayendo como desequilibrio y un paso irreversible a los ecosistemas nativos y a las especies.

“La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) es un instrumento que ofrece el marco estratégico de largo plazo, para guiar las transformaciones que Uruguay viene transitando para hacer frente a los desafíos del cambio climático y la variabilidad. Además, atender las obligaciones internacionales asumidas con la ratificación del Acuerdo de París. Fue elaborada de forma participativa entre febrero y agosto de 2016, y aprobada mediante el Decreto del Poder Ejecutivo 310/017. La Política prevé su desarrollo e implementación en el corto, mediano y largo plazo con la participación de los distintos actores de la sociedad uruguaya con un horizonte hacia el año 2050, pero no menciona sobre estrategias de absorción de CO₂ para la mitigación de lo emitido, solo habla de con mitigar la emisión”. (Ministerio de Ambiente, 2016).

Justificación

La acelerada concentración de CO_2 en la atmósfera es uno de los principales factores que impulsan el cambio climático. En respuesta, es necesario buscar y promover estrategias efectivas de mitigación que incluyan tanto tecnologías avanzadas como soluciones basadas en la naturaleza. Los árboles y arbustos juegan un papel fundamental en este contexto, pues son capaces de capturar y almacenar CO_2 a través del proceso de fotosíntesis, actuando, así como sumideros naturales de carbono.

Por lo tanto, se considera que la captura de carbono es de suma importancia debido a que ayuda a eliminar la contaminación ambiental, reduciendo de esta manera la huella de carbono. Los árboles a lo largo de su vida absorben las emisiones de CO_2 , liberando oxígeno purificado.

Este trabajo se desarrolla con el fin de elaborar una metodología que permita medir la captura de carbono, la misma será aplicada dentro del predio del LATU. Se busca utilizar todos los conocimientos obtenidos en la carrera, plasmando el trabajo final con **fotogrametría**, aplicación de SIG, Geoservicios, entre otros.

Para ello, se generó un listado georreferenciado de árboles y arbustos dentro del predio donde se detalla la especie, ubicación, dimensiones y características de los mismos, entre otros factores. Los datos obtenidos permiten realizar una estimación de la absorción de CO_2 , con el fin de determinar su comportamiento.

Objetivo general

Obtener y probar una metodología que permita cuantificar y validar la capacidad de absorción de carbono de distintas especies de árboles y arbustos en una zona específica.

Objetivo específico

- Investigar y proponer una metodología para la medición de captura de CO₂ en un determinado rango de tiempo.
- Validar la metodología aplicándola en una zona determinada.
- Comparar los valores obtenidos de captura de CO₂ con la estimación de producción de CO₂ para esa zona.

Metodología a aplicar

El Instituto Europeo del Bosque Cultivado (IEFC) es el principal centro de conocimiento para la gestión sostenible de las plantaciones forestales, tiene como objetivo promover, facilitar y mejorar la resiliencia y sostenibilidad futuras de los bosques cultivados en Europa.

“Fue fundada en 1998, esta asociación tiene por objeto facilitar y coordinar los intercambios entre los agentes de la investigación, de la formación y del sector forestal. A partir de 2009, el IEFC ha ralentizado su actividad para apoyar a la oficina regional del espacio de formación integral (EFI) para las regiones del arco atlántico y, desde 2018, a la plataforma del EFI para las plantaciones forestales. En 2020, tras el cierre de las oficinas regionales del EFI en Francia, la asociación contrató a un director y personal para asegurar la animación de la red y la coordinación de las actividades y proyectos sobre el tema de los bosques plantados”. (Planted Forests, 2024).

“El IEFC constituye una red transnacional de cooperación científica y técnica para la ordenación sostenible de los bosques cultivados. El IEFC reúne a más de 30 organizaciones: institutos de investigación, centros técnicos, universidades, escuelas de ingeniería, compañías de seguros, cooperativas y organizaciones profesionales. Cualquier entidad jurídica puede hacerse miembro y participar en los intercambios (grupos temáticos, eventos), así como en el establecimiento y la ejecución de proyectos de colaboración en materia de investigación y desarrollo. La adhesión a la red le permite beneficiarse de competencias científicas y técnicas y de contactos privilegiados, además promueve el intercambio de experiencias y recursos entre los miembros de la red y, más extensamente, con todos aquellos

involucrados en la gestión de los bosques cultivados y del uso sostenible de los productos derivados de ellos”. (Planted Forests, 2024).

La investigación empezó con la búsqueda de metodologías para la estimación de la captura de CO₂. Investigando se obtuvo la información necesaria para poder calcular la estimación con una metodología científica. Fue necesario investigar un procedimiento válido que permita llevar a cabo el mismo. Luego de largas semanas de búsqueda, se encontró un informe de KEBBE, ubicado en la zona de Francia y España, más específicamente en Nueva Aquitania, Euskadi y Navarra, que establecía qué parámetros utilizar para poder estimar la captura de carbono total de los árboles.

“Esta institución realiza la formación a nivel educativo para ir implementando, fomentando sobre la sostenibilidad y sentido de propiedad sobre los ecosistemas, en este caso enfocado a los bosques y plantaciones forestales en donde crean el proyecto KEBBE.”

El proyecto pretende informar y fomentar sobre la importancia del bosque y promover la cooperación territorial utilizando la bioeconomía forestal como tema principal. Es un eje de desarrollo europeo y un tema fundamental para el futuro socioeconómico y medioambiental de las regiones de Nueva Aquitania, Euskadi y Navarra, es decir entre 2 países como Francia (color naranja) y España (color verde)”. (KEBBE, 2024). En la figura 2 se muestran los lugares donde se aplica el proyecto.



Figura 2: Regiones de Nueva Aquitania, Euskadi y Navarra. (Fuente: Elaboración propia).

“La educación de los jóvenes en la bioeconomía forestal, como propone el proyecto, es el marco ideal para lograr un mejor conocimiento de todos los productos que el bosque puede ofrecer para sustituir a los productos de plástico y a la energía del petróleo. Además, podrán descubrir que el bosque es el único ecosistema terrestre que almacena carbono en grandes cantidades y es el recurso renovable más abundante de la Eurorregión. Siendo una forma de poder reducir las emisiones de CO₂ en el planeta. Este proyecto fue desarrollado por instituciones investigadoras de ambos países”. (KEBBE, 2024).

Este bloque pretende analizar los productos y servicios generados por nuestros bosques. Su estudio es muy importante porque nos permite darnos cuenta del valor del bosque, tanto económico como cultural y medioambiental. Además, cuando los bosques se gestionan adecuadamente, generan una economía sostenible denominada bioeconomía forestal.

La implementación de este proyecto busca es la bioeconomía y servicios de los ecosistemas (servicio de suministro, servicios de regulación y servicios socioculturales), además de Planificación y gestión forestal sostenible, es importante saber que el equilibrio de los ecosistemas es frágil, teniendo en cuentas sus ventajas, no se puede compensar todos los problemas causados por el ser humano.

“Se realizó verificaciones de los cálculos para el desarrollo de la estimación de Absorción CO₂ en los árboles y arbustos, en México la revista mexicana de ciencias agrícolas realiza ecuaciones para estimar la biomasa y carbono obtenido mediante un método no destructivo, así como Agrociencia en México se realizan Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en palma de aceite”. (Santiago et al., 2016). (Hernández et al., 2018).

Realizada la estimación de absorción de CO₂ acumulada, surge la idea de calcular la captura anual, para obtener este dato es necesario la tasa de crecimiento de cada especie, tanto de altura como de diámetro presente en la zona de estudio. Con los datos obtenidos se realizó la estimación de la absorción de CO₂ anual.

Para poder estimar la cantidad de CO₂ que un árbol o un arbusto puede almacenar en su biomasa, es necesario realizar dos mediciones: medir la altura y medir su circunferencia (ancho) para así calcular la biomasa. Cuando se estima la capacidad de absorción de carbono es necesario obtener la tasa de crecimiento anual de los mismos.

Estimación del cálculo:

Con los datos que se recauden en campo: especie, altura, ancho, tipo de raíz, follaje y tipo de leña. Se aplicarán las ecuaciones de absorción de CO₂.

Cálculo de la cantidad de CO₂ almacenada

“Los cálculos se realizaron mediante la aplicación de las siguientes fórmulas matemáticas, donde se estiman en forma secuencial, para poder obtener el valor de la cantidad CO₂ de absorción”. (KEBBE, 2022).

Cálculo del volumen total de madera aérea

$$V_t = 0,496 \times \frac{H_t \times C_{1,3}^2}{4\pi}$$

con:

V_t volumen total de madera aérea (m³)

C_{1,3} circunferencia a 1,3 m de altura (m)

H_t altura total del árbol (m)

f factor de forma del árbol, que puede estimarse en 0,496 para todas las especies

(KEBBE, 2022)

Cálculo del volumen total de madera aérea

Entonces, a partir del volumen total de madera sobre el suelo V_t y de la infradensidad de la madera, es posible calcular la biomasa sobre el suelo de materia seca. La infradensidad se define como la relación entre una masa de madera anhidra y su volumen en estado saturado (en agua). Se expresa en toneladas de materia seca por m³ (tMS/m³). **(KEBBE, 2022).**

El factor de expansión de las raíces, que puede estimarse en 1,28 para las maderas duras, semi dura 1.29 y en 1,30 para maderas blandas.

$$B_a = V_t \times d_i$$

con:

B_a biomasa aérea en toneladas de materia seca (tMS)

V_t volumen total del árbol (m³)

di infradensidad de la especie (tMS/m³) que puede estimarse en 0,546 tMS/m³ para el follaje denso y 0,438 tMS/m³ para follaje semitransparente. (KEBBE, 2022).

Cálculo de la biomasa total

$$B_t = B_a \times BEF_r$$

con:

BT biomasa total, aérea y radicular (tMS)

BA biomasa sobre el suelo (tMS)

BEFr El factor de expansión de las raíces, que puede estimarse en 1,28 para las maderas duras, semi dura 1.29 y en 1,30 para maderas blandas. (KEBBE, 2022).

Calcular la cantidad de carbono

Por último, la cantidad de carbono contenida en un árbol o arbusto puede calcularse a partir de la biomasa total (por encima y por debajo del suelo) y el contenido de carbono en la materia seca. Por último, para pasar de un valor en toneladas de carbono a un valor en toneladas de CO₂, basta con multiplicar la masa del carbono por la masa molar de una molécula de CO₂, es decir

$$Q_{CO_2} = \tau_c \times B_t \times \frac{44}{12}$$

con:

Qco2 la cantidad de CO₂ secuestrada en un árbol (t)

Tc la tasa de carbono, que puede estimarse en 0,475 tC/tMS

Bt biomasa total, por encima y por debajo del suelo (tMS)

Para pasar de un valor en toneladas de carbono a un valor en toneladas de CO₂, basta con multiplicar la masa de carbono por la masa molar de una molécula de

CO₂, es decir $\frac{44}{12} \approx 3,67$ (KEBBE, 2022).

Una herramienta fundamental que utilizamos en la identificación taxonómica de cada ejemplar de cada tipo de árbol fue *PictureThis*. Esta aplicación tiene como objetivo la identificación de plantas mediante fotografías, brindando información detallada de la especie identificada. Utiliza inteligencia artificial para analizar las fotos tomadas por el usuario. Su gran precisión y uso didáctico la han posicionado como referente en el ámbito de la botánica. Cuando la aplicación identifica una planta brinda los siguientes detalles:

1. **Nombre común** como el **nombre científico** de la especie.
2. **Clasificación taxonómica** que es la clasificación de la planta, su familia y género.
3. Descripción general, incluye las características como **tamaño, forma, color de las hojas, tipo de flores y frutos, y aspecto de la corteza**.
4. Su **hábitat** y distribución del clima, suelo y regiones donde la especie se encuentra naturalmente.
5. Las **características de cultivo y cuidado**, proporcionando recomendaciones sobre riego, luz, poda y fertilización para su adecuado cultivo.
6. Sus **datos ecológicos** como el rol ecológico de la planta, como su relación con polinizadores o su capacidad invasiva.
7. Además de las **propiedades medicinales o tóxicas**, indica si la planta es medicinal o tóxica para humanos y animales.
8. Y la información adicional que incluye datos curiosos, usos tradicionales o aplicaciones culturales y prácticas.

Mientras que en el caso de los arbustos se realizó una tabla que permite obtener las tasas de crecimiento del diámetro promedios de los mismos, donde se subdividieron desde lento a acelerado.

Metodología aplicada

La metodología aplicada fue cuantificar la estimación aproximada de la cantidad de CO₂ absorbido por los árboles y arbustos en el predio del LATU en tiempo de referencia a un año. El trabajo experimental se dividió en 3 grandes etapas. En la figura 3 se representa el diagrama de flujo del informe.

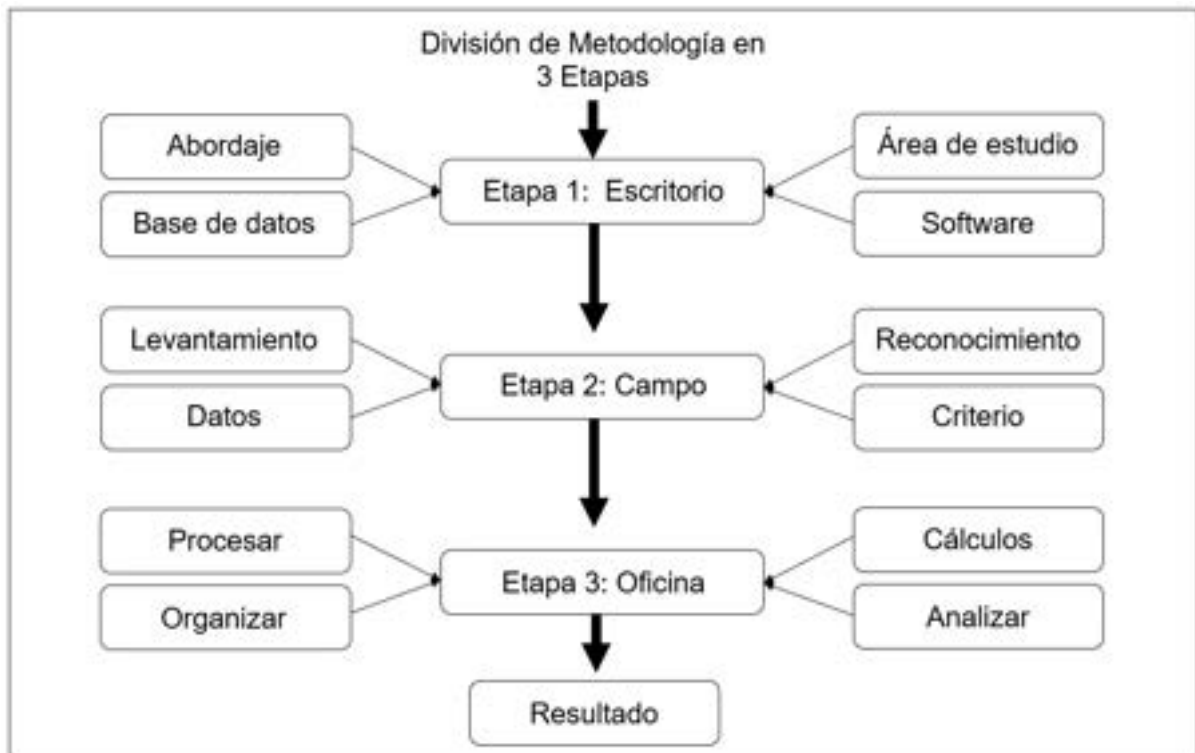


Figura 3: Etapas y diagrama de flujo de la metodología. (Fuente: Elaboración propia).

Etapa 1: Escritorio

Abordaje del tema

Se comenzó identificando dónde iba a realizarse el cálculo de absorción de CO₂ y se tomó como criterio incluir en la estimación árboles y arbustos. En la figura 4 se puede observar el ciclo de emisión, absorción y purificación del CO₂ (generando materia orgánica y O₂ como producto final).

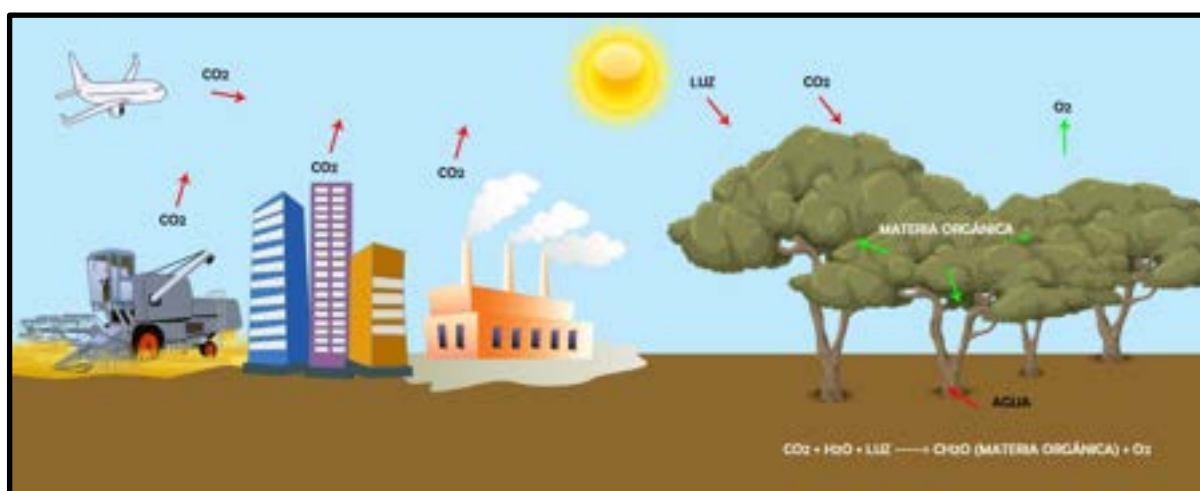


Figura 4: Ciclo de vida del CO₂ en el ambiente. (Compensa Forest, 2024).

Área de estudio

El Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) es una institución pública pero no estatal fundada en 1965 y tiene como misión apoyar el desarrollo productivo del país.

El LATU trabaja en certificación de productos, control medioambiental y mejora de procesos industriales. Colabora con sectores clave como el agroindustrial, textil, forestal y alimentario, ayudando a superar barreras técnicas en mercados internacionales. Su trabajo está avalado por las normas de calidad como ISO 9001 y ofrece servicios validados por organismos nacionales y también internacionales. Además, impulsa la innovación y el emprendimiento mediante su Parque de Innovación y su fundación Latitud, desarrollando proyectos de investigación adaptados a las necesidades del país. El LATU también articula con el Estado, la academia y organismos internacionales, consolidándose como un referente en tecnología, calidad e innovación. (LATU, 2024).

Por medio de Latitud e intereses de la institución, para el desarrollo de este proyecto, se brindó el apoyo para realizar la ejecución dentro del LATU y se asignados como tutores empresariales, Lucía Boccardi y Martín Rodríguez, quienes fueron los responsables en la organización, planificación y ejecución de del trabajo dentro del predio del LATU. Se delimito al área de estudio la cual se puede apreciar en la figura 5.



Figura 5: Salida de mapa del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia).

Software

“Un sistema de información geográfica (SIG) es un marco para recopilar, gestionar y analizar datos. Adaptado en la ciencia de la geografía, SIG integra muchos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones utilizando mapas y escenas en 3D. Con esta capacidad única, SIG revela conocimientos más profundos sobre los datos, como patrones, relaciones y situaciones, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes”. (SIGSA, 2024). En la figura 6, se muestran las herramientas GIS usadas en el informe.

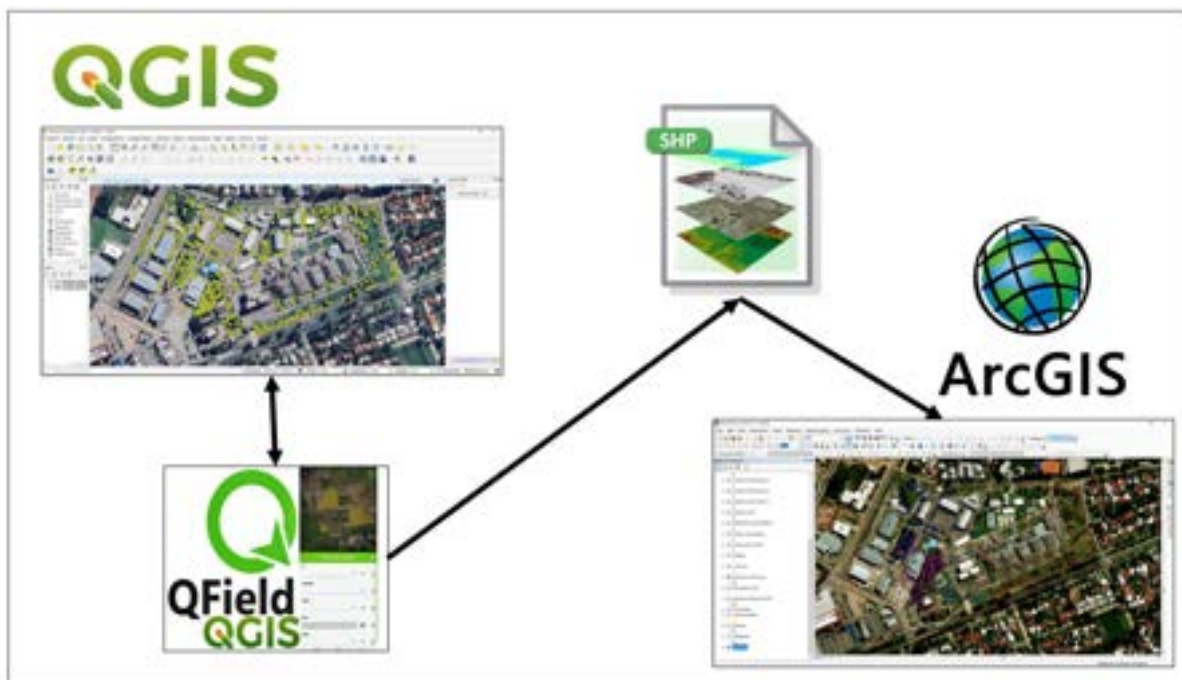


Figura 6: Herramientas GIS usadas. (Fuente: Elaboración propia).

Pasos esenciales en la gestión de proyectos SIG

La gestión de proyectos SIG es una habilidad crucial para los que necesitan recopilar, analizar y presentar datos espaciales para diversos fines. Ya sea que esté planificando una evaluación del sitio, diseñando un proyecto de restauración o creando un mapa para las partes interesadas, debe seguir algunos pasos esenciales para garantizar un proyecto SIG exitoso. En esta sección del documento, se discutirán cuáles son estos pasos y cómo pueden ayudar a alcanzar los objetivos.

1. Definir el ámbito

“El primer paso en cualquier proyecto SIG es definir el alcance, lo que significa aclarar los objetivos, los entregables, el presupuesto, el cronograma y los estándares de calidad del proyecto. Debe identificar el problema o pregunta principal que abordará su proyecto, las fuentes de datos y los métodos que utilizará, los resultados, formatos esperados que producirá, los recursos y limitaciones que enfrentará”. (LINKEDIN, 2024).

Para este caso, se definió el área de estudio y, una vez delimitada, se determinó el relevamiento de árboles y arbustos.

2. Diseñar el flujo de trabajo

“El siguiente paso es diseñar el flujo de trabajo, lo que significa delinear las tareas, roles y dependencias que conformarán el proyecto. Debe dividir su proyecto en pasos manejables, asignar responsabilidades, como los plazos de la elaboración del proyecto e identificar las entradas y salidas de cada tarea. También debe considerar los requisitos de software y hardware, la calidad de los datos, los problemas de seguridad, los posibles riesgos y desafíos que podrían surgir. Diseñar el flujo de trabajo le ayudará a ejecutar y supervisar su proyecto, coordinar con su equipo y adaptarse a las circunstancias cambiantes”. (LINKEDIN, 2024).

Se realizó una búsqueda sobre las distintas formas de medir, luego se realizó el relevamiento y se obtuvieron los datos. Estos últimos, tienen que ver con las características de los árboles y arbustos.

Consideraciones establecidas para los datos:

- Sector dentro del LATU
- N° de ubicación
- Especie del Árbol o Arbusto
- Ancho (cm)
- Altura (cm)
- Tipo de raíz (Primario o Secundaria)
- Tipo de follaje (Denso o Semitransparente)
- Tipo de leña (Dura, semiblanda o blanda)

Estos fueron los datos que se levantarán para poder iniciar el cálculo de absorción de CO₂.

3. Recopilar y preparar los datos

*“El tercer paso es recopilar y preparar los datos, lo que significa adquirir, organizar y procesar los datos espaciales que necesitará para su proyecto. Debe seleccionar las fuentes y formatos de datos adecuados, como imágenes de satélite, fotos aéreas, puntos GPS, capas vectoriales o cuadrículas ráster. También debe realizar la limpieza, conversión, proyección e integración de datos mediante herramientas como **ArcGIS** o **QGIS**. La recopilación y preparación de los datos le ayudará a garantizar la precisión y la integridad de sus datos, reducir errores e inconsistencias, y optimizar su análisis y visualización”. (LINKEDIN, 2024).*

Posteriormente en campo se irá completando los datos de los árboles y arbustos, y con el software de QField se recopilarán los datos en el campo.

Principios del QField

- **Simplificar las cosas**

“Los requisitos sobre el terreno no son los mismos que en un ordenador de sobremesa. En primer lugar, al utilizar un teléfono o una tableta, el lienzo sobre el que trabajar es mucho más limitado que el monitor de un ordenador. En segundo lugar, los dispositivos para la recogida de datos, así como las tareas individuales que deben realizarse, son muy diferentes. QField pretende ayudar a los usuarios a realizar un trabajo de campo sin las molestias de una interfaz de usuario desordenada. En otras palabras, sólo las partes relevantes de una tarea son accesibles en la interfaz, mientras que las cosas menos importantes permanecen fuera de la vista. Sin embargo, antes de salir al campo, los pasos preliminares como el estilo de las capas, los formularios a medida, la validación de entradas o cualquier otra configuración del proyecto deben realizarse primero en el escritorio a través de QGIS”. (QField, 2023).

- **Compatibilidad con QGIS**

“Dado que QField es una versión optimizada para móviles de la aplicación de escritorio QGIS, su proyecto aparecerá y se sentirá idéntico tanto en QGIS como en QField. El motor de renderizado de QField es el mismo que el utilizado en QGIS de escritorio, lo que garantiza que los proyectos tendrán un aspecto prácticamente idéntico en ambos entornos. No es necesario volver a crear las opciones de configuración preparadas previamente en QGIS, por lo que QField utiliza los mismos widgets de edición que QGIS desktop. Como resultado, los proyectos configurados en el escritorio deberían funcionar sin problemas en la aplicación móvil. Estos principios han guiado hasta ahora nuestro desarrollo y diseño de QField, y seguirán haciéndolo en el futuro. En los últimos años, QField ha demostrado ser el mejor amigo del trabajador de campo y sigue evolucionando con nuevas prestaciones para satisfacer una gama aún más amplia de necesidades”. (QField, 2023).

- **Basado en modos**

“QField está construido en torno a diferentes modos, similares a las herramientas de mapa de la versión de escritorio de QGIS. El modo define la naturaleza de la tarea. En QField, los usuarios navegan por los datos o digitalizan cosas nuevas”. (QField, 2023).

En la figura 7 se puede ver cómo era el interfaz del software utilizado o para realizar la medición y captura de los datos de árboles y arbustos.

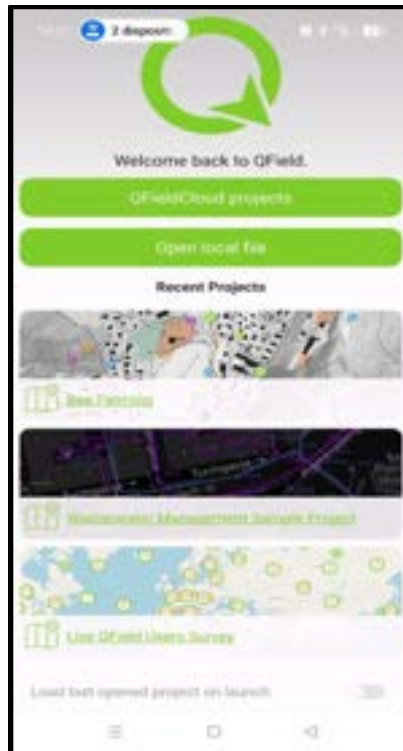


Figura 7: Imagen de la aplicación de Qfield. (Fuente: Elaboración propia).

4. Analizar y visualizar los datos

“El cuarto paso es analizar y visualizar los datos, lo que significa aplicar técnicas y métodos espaciales para responder a su pregunta de investigación o resolver su problema. Debe elegir los métodos de análisis y visualización adecuados, como estadísticas espaciales, modelado espacial, interpolación espacial o agrupación espacial. También debe crear mapas, tablas, gráficos o informes que muestren sus resultados y hallazgos, utilizando herramientas como ArcGIS o QGIS. Analizar y visualizar los datos le ayudará a generar ideas y conocimientos, apoyar su toma de decisiones y comunicar su mensaje”. (LINKEDIN, 2024).

Lo más importante a la hora de obtener datos recopilados, es su interpretación y, en este trabajo, se realizó por medio de la aplicación del software de ArcGIS 10.8 y QGIS 3.34.10.

5. Revisar y refinar los resultados

“El quinto paso es revisar y refinar los resultados, lo que significa evaluar y mejorar la calidad y la utilidad de sus resultados. Debe verificar la validez y confiabilidad de sus datos, análisis y visualización, utilizando criterios como exactitud, precisión, coherencia, claridad y relevancia. También debe solicitar comentarios y sugerencias de su equipo, clientes o partes interesadas, utilizando métodos como la revisión por pares, las pruebas de usuario o el grupo focal. Revisar y refinar los resultados lo ayudará a garantizar la credibilidad y efectividad de sus productos, satisfacer las expectativas y necesidades de su audiencia y mejorar su reputación y habilidades”. (LINKEDIN, 2024).

Es de suma importancia analizar los datos obtenidos y ver si se encuentran dentro de los parámetros buscados, con el fin de poder generar la información correspondiente, siendo la misma confiable.

6. Entregar y difundir los resultados

“El paso final es entregar y difundir los resultados, lo que significa transferir y compartir sus resultados con sus usuarios y beneficiarios previstos. Debe elegir los métodos de entrega y difusión adecuados, como mapas web, panel en línea, informe impreso o presentación. También debe documentar y archivar sus datos, análisis y visualización, utilizando herramientas como metadatos, código o repositorio. Entregar y difundir los resultados lo ayudará a lograr el impacto y el valor de su proyecto, mostrar su trabajo y logros, y fomentar la colaboración y el aprendizaje”. (LINKEDIN, 2024).

Como resultado final, se obtuvo un mapa de salida de los árboles y arbustos del LATU, georreferenciados, con sus distintos atributos para las diferentes especies.

Base de Datos

“Una Base de Datos Geográfica (BDG) es un conjunto de datos geográficos organizados de tal manera que permiten la realización de análisis y la gestión del territorio dentro de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG)”. (IGN, s.f.).

En el trabajo se ve reflejado la importancia de la utilización de la base de datos, debido a que permite plasmar atributos de los árboles y arbustos relevados, permitiendo poder procesar para poder obtener información.

Etapa 2: Campo

Vuelo con el Dron

Se planificó el vuelo del dron en la aplicación Drone Deploy (se hizo el vuelo en la computadora para posteriormente volar la zona de estudio, donde se detallan el área y tiempo de vuelo estimado) para obtener un modelo digital de terreno y de superficie mediante el uso de la fotogrametría. En la figura 8 se pueden observar la colocación de los puntos de apoyo y de testeo. Se muestran fotos de la salida de campo durante el vuelo dron y los pasos que se cumplieron.



Figura 8: Vuelo de dron. (Fuente: Elaboración propia).

Con el fin de cubrir el área de estudio se realizaron 4 vuelos distintos. Como se mencionaba anteriormente, se planificó cada vuelo con el software Drone Deploy, donde se generaron polígonos que serían nuestras áreas de estudio donde volaría el dron. Dentro de los parámetros, se cuenta con un total de vuelo, la superficie a estudiar, el total de imágenes y cuántas baterías serían necesarias para el vuelo (del dron utilizado un DJI Mavic Pro, tenía una duración de 20 minutos por batería). En las imágenes se puede apreciar la preparación de cada uno de los vuelos de dron desde una perspectiva aérea, junto a la cantidad de imágenes que sacará, el recorrido y duración del vuelo, entre otros detalles. En la figura 9 se muestra la planificación de los 4 vuelos en detalle del recorrido.



Figura 9: Planificación de vuelo. (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente tabla se detallan los datos de los vuelos de drone específicamente:

Datos sobre el vuelo					
N°	Tiempo (min)	Altura de vuelos(m)	Superficie (ha)	Cantidad de Imágenes	Zona Volada
1	2:26	60	2	46	1 y 2
2	2:41	60	2	62	3 y 4
3	2:59	60	3	76	4 y 6
4	3:12	46	2	95	5 y 7

Tabla 1: Constancia de los distintos parámetros de cada vuelo. (Fuente: Elaboración propia).

A medida que se iba realizando cada vuelo, se iban marcando en el terreno los puntos de apoyo y de testeo que los mismos eran relevados con el GNSS. Los mismos tienen el propósito de ajustar el vuelo y generar mayor precisión a la hora de obtener los datos. El procedimiento anterior se puede realizar de esa manera o utilizar un drone con RTK, donde el mismo dispositivo cuenta con GPS.

Criterios para el relevamiento de los árboles y arbusto para el cálculo de la biomasa y estimación del CO₂ almacenado

Esta actividad está vinculada a la parte de la investigación y requiere competencia matemática para el cálculo. Todos los árboles y arbustos realizan la fotosíntesis, es decir fisiológicamente tiene un proceso de desarrollo y crecimiento de estos, utilizan el CO₂ para almacenarlo en forma de materia orgánica o vegetal.

Para ello fue necesario conocer la circunferencia y la altura de un árbol y arbustos. La obtención de los datos que hay que realizar sobre el levantamiento de los árboles y arbustos es simplemente la circunferencia del tronco y la altura del mismo. De este modo, el CO₂ absorbido como servicio de regulación y transformación como fuente principal para este trabajo.

A partir de las mediciones se puede realizar el siguiente cálculo: Carbono almacenado en una tabla de madera: Longitud x Ancho x Altura para Bt (Biomasa total), luego calcular el QCO₂ (Cantidad de CO₂ capturada por un árbol).

Valores estimados para realizar los cálculos

Factor de forma del árbol y arbustos, que puede estimarse en 0,496 para todas las especies		Va a depender de las característica de los arboles o arbustos con respecto al cubrimiento entre las hojas		El factor de expansión de las raíces, que puede estimarse entre 1,28 para las maderas duras y en 1,30 para maderas blandas		La tasa de carbono, que puede estimarse en 0,475 tC/tMS
Tipo	factor (f)	Tipo de Follaje	tMS/m3 (di)	Lena	BEFr	tC/tMS (Tc)
Arbol o arbustos	0,496	Densa	0,546	Dura	1,28	0,475
		Semitransparente	0,438	Blanda	1,3	
		Transparente	0,325	Semidura	1,29	

Tabla 2: Cálculos de estimación. (Fuente: Elaboración propia).

Mediciones de la altura realizadas de 2 maneras:

1. Mediante la interpretación de las imágenes de vuelo de dron que se hicieron para obtener la altura de los árboles y arbustos, poder obtener las alturas aproximadas con el vuelo se procesaron las imágenes para obtener la nube de punto de cada vuelo. En la figura 10 se detalla cada proceso del procesamiento del vuelo hasta trabajarlo en el Pix4D.

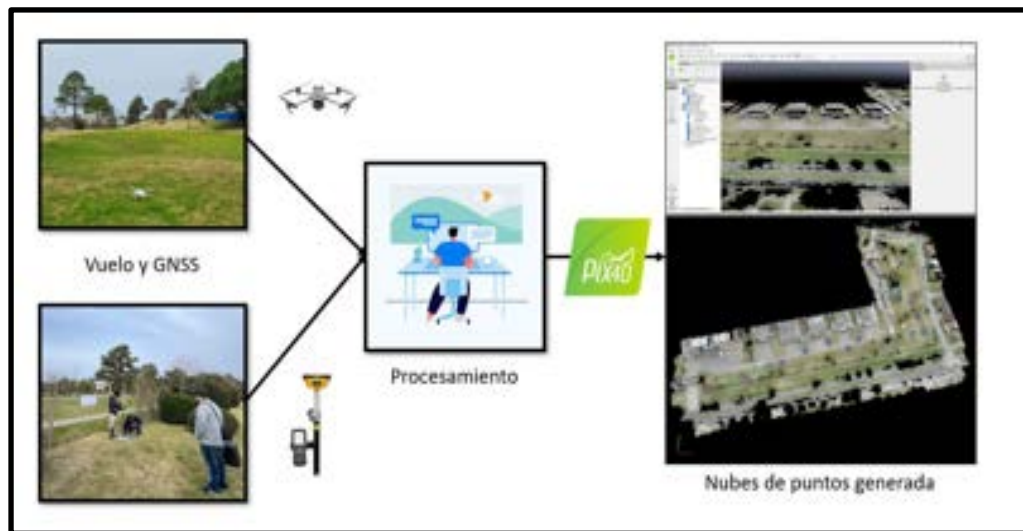


Figura 10: Procesamiento de las imágenes del dron. (Fuente: Elaboración propia).

2. Para aquellos árboles o arbustos que estaban por debajo de los 4 metros de altura. Se utilizó una **mira topográfica**. Con ella, se estima la altura del árbol o arbusto desde el suelo hasta la parte más alta. En la figura 11 se muestra el uso de la mira topográfica.



Figura 11: Uso de la mira topográfica.

Las alturas de los mismos fueron obtenidas mayoritariamente del vuelo de dron (salvo el bosque del sector 7, que al tener demasiada vegetación no se obtuvo en el vuelo); las alturas restantes fueron tomadas con la mira topográfica (4 metros totales).

Medición de circunferencia:

Para poder determinar la circunferencia del tronco de un árbol se sigue el procedimiento estándar llamado **DAP**. Este consiste en utilizar una cinta métrica tradicional para medir la circunferencia del árbol, pero esta medida debe hacerse a la altura estándar de 1.30 metros desde el suelo, una referencia ampliamente reconocida por la silvicultura. Para ello, se rodea el tronco con la cinta métrica, asegurándose de que quede ajustada al contorno del árbol y posicionada de manera horizontal. Es importante mantener la cinta nivelada y firme durante la medición para garantizar la precisión. (UNAM, 2018).

A continuación, en la figura 12 se muestra la altura a la que se mide el ancho de los árboles y arbustos tanto en representación gráfica como en campo.

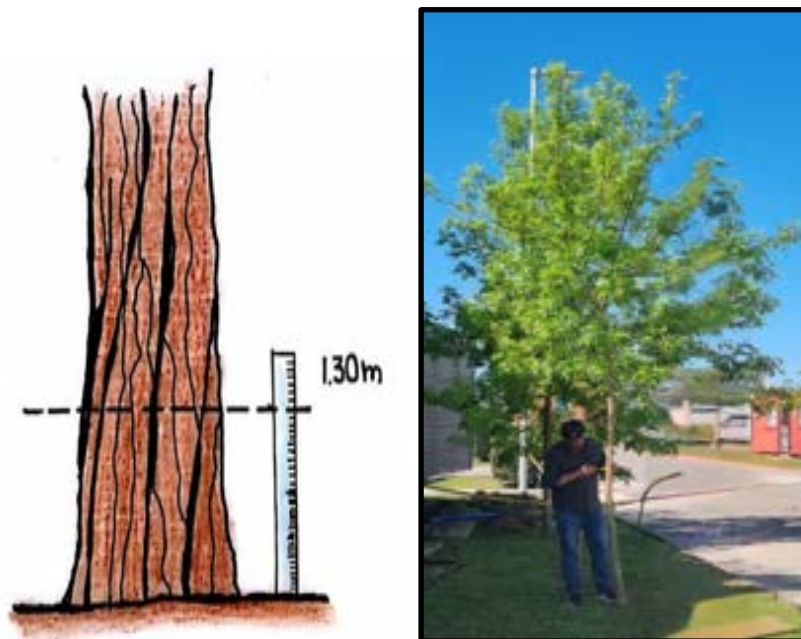


Figura 12: Implementación del DAP. (UNAM, 2018).

Es importante destacar que, en zonas con alta densidad de árboles y arbustos, donde no se pudieron obtener datos con el uso de la fotogrametría (lo que no permitió generar un modelo digital de terreno y de superficie, por lo tanto, no se pudo obtener las alturas de los ejemplares), la medición se realizó con el uso de mira topográfica.

Relevamiento de los árboles y arbustos

Para realizar dicho relevamiento, fue necesario realizar el recorrido del predio de los 7 sectores dentro del LATU (Figura 13), reconociendo y planificando cómo realizar el trabajo. Se definió realizar el relevamiento e ir registrando los datos de cada árbol mediante la aplicación de **Qfield**, donde también se almacena la ubicación de cada ejemplar. En la figura 13 se representa la salida de mapa con la separación de sectores del área de estudio.



Figura 13: Sectores del predio LATU. (Fuente: Elaboración propia).

Reconocimiento de las especies de los árboles y arbustos

La identificación de las especies de los árboles y arbustos se realizó mediante el método tradicional basado en el reconocimiento visual de las características de las hojas de estos. Este procedimiento es bastante preciso en Ingenieros Agrónomos como en Botánicos. Para tener una mejor coartada con los datos recogidos, como se mencionó anteriormente, se optó por utilizar la aplicación llamada *PictureThis*.

Así como también se compararon con las especies reconocidas en la recolección de datos anteriormente en el LATU. La primera etapa de recolección de datos se realizó en el invierno, lo que tuvo la limitación de que la mayoría de árboles y arbustos tenían poco follaje lo que generó posibles errores en los datos iniciales. Sin embargo, en primavera se hizo una segunda ronda de recolección de datos aplicando todas las herramientas y procesos anteriormente mencionados con lo cual se obtuvo una mejora de precisión y confiabilidad de los datos adquiridos. Con este procedimiento se logró demostrar la importancia de considerar el ciclo estacional de las plantas para obtener resultados para reconocer las especies más precisas. Sobre todo, cuando se emplean herramientas digitales junto con el reconocimiento visual. Se muestra una imagen de la aplicación usada para el reconocimiento de especies de árboles y arbustos, junto con un ejemplo de aplicación de la misma en campo en la figura 14.



Figura 14: Aplicación de PictureThis. (Fuente: Elaboración propia).

Carga de la base de datos

En el trabajo de campo se usó la herramienta para poder ir dibujando y rellenando la base de dato desde un equipo móvil con tecnología Android, además de está ubicada especialmente y asociada al SIG Qfield, donde mediante una tabla de atributos previamente cargados, permite el rellenado de los atributos en campo y el ploteo de los árboles y arbustos. En la figura 15 se muestra la recolección de datos en campo.



Figura 15: Imagen de la APP Qfield usada en campo. (Fuente: Elaboración propia).

Etapas 3: Oficina

Procesar las imágenes obtenida por el Drone:

El software Pix4D es un software de procesamiento de imágenes, que son obtenidas producto del mapeo con drones y dispositivos móviles. A través del uso de algoritmos de última generación y avanzadas técnicas de procesamiento fotogramétrico genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y ortomosaicos de muy alto detalle que son utilizados en el campo de la fotogrametría. También cuenta con una línea de dispositivos de captura de datos, entre los cuales se incluyen cámaras y sensores que complementan al software. Pix4D es una opción sumamente completa y transversal a todas las industrias en el mercado que requieran de data e información de muy alto detalle y precisión. (UAV LATAM, s.f.). En la figura 16 se representa el proceso detallado en Pix4D de cómo se halla el MDT.

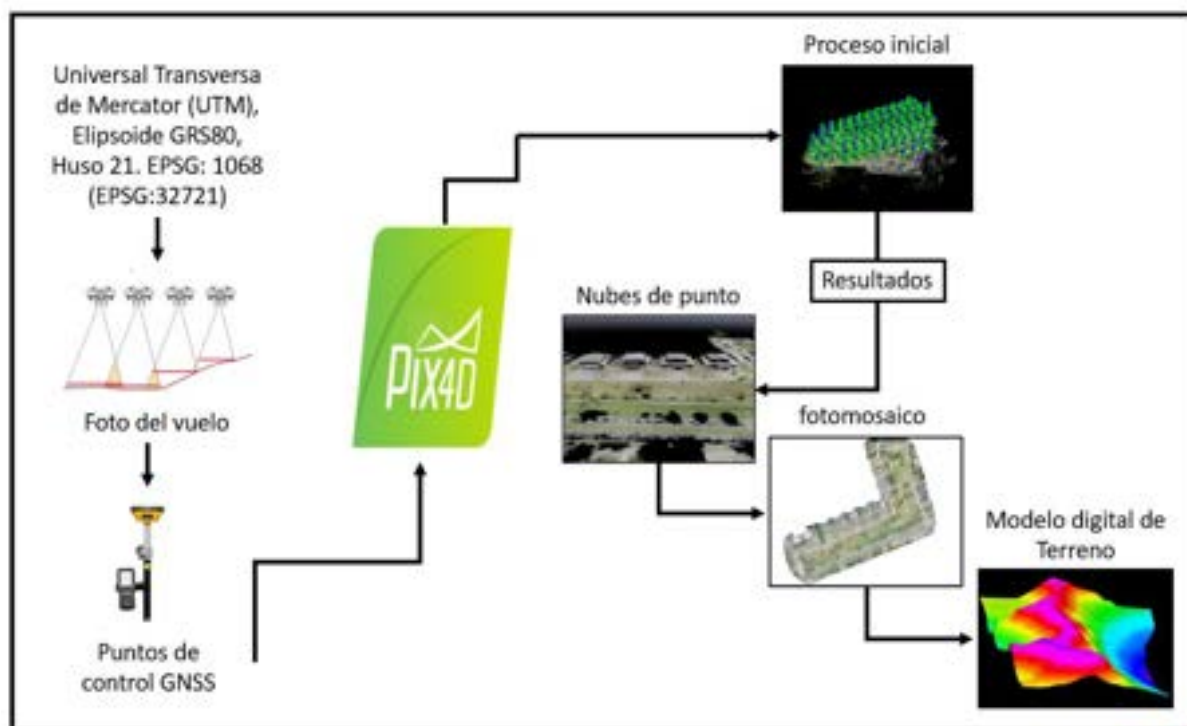


Figura 16: Proceso del MDT. (Fuente: Elaboración propia).

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software Pix4d, donde se colocaron las imágenes obtenidas por el vuelo de Dron, sistema de proyección y puntos de apoyo y testeo para iniciar el procesamiento donde se generará como resultado **nube de puntos**, Ortomosaico, un modelo digital de terreno y de superficie. La nube de puntos se genera en formato de píxel donde cada uno de ellos reflejan una cota determinada espacialmente. En la figura 17 se muestra el procesamiento inicial de Pix4D.



Figura 17: Muestra de imagen del procesamiento inicial del Software. (Fuente: Elaboración propia).

Procesamiento el Shapefile de los árboles y arbustos relevados:

Se realizó utilizando ArcGis 10.8 para el procesamiento, el llenado y revisión de la base de datos, en este proceso se incorporó la interpretación de altura con las nubes de punto generada en el procesamiento anterior, además de la verificación de los datos incorporados en la fase de campo. Cabe destacar que los datos fueron extraídos de Qfield por medio de un formato Shapefile y como se muestra en la figura 18, la ubicación precisa de cada árbol y arbusto. Además, en la figura 19 se muestra cada atributo de cada especie georreferenciada.

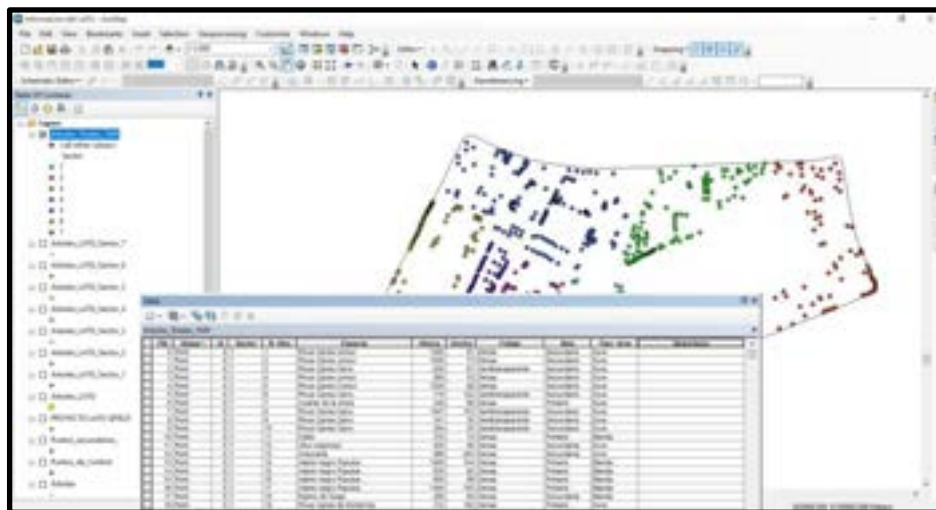


Figura 18: Puntos de Qfield en ArcGIS. (Fuente: Elaboración propia).

ID	Especie	Altura	Ancho	Perímetro	Baza	Tipo de copa	Observaciones
1	Punt. Caprea comut.	1055	81	Denso	Secundaria	Dura	
2	Punt. Caprea comut.	1020	73	Denso	Secundaria	Dura	
3	Punt. Caprea comut.	800	81	Semibramante	Secundaria	Dura	
4	Punt. Caprea comut.	800	81	Denso	Secundaria	Dura	
5	Punt. Caprea comut.	1020	80	Denso	Secundaria	Dura	
6	Punt. Caprea comut.	710	122	Semibramante	Secundaria	Dura	
7	Punt. Caprea comut.	240	80	Denso	Primaria	Dura	
8	Punt. Caprea comut.	1047	103	Semibramante	Secundaria	Dura	
9	Punt. Caprea comut.	345	30	Semibramante	Secundaria	Dura	
10	Punt. Caprea comut.	364	25	Semibramante	Secundaria	Dura	
11	Punt. Caprea comut.	170	74	Denso	Primaria	Randa	
12	Punt. Caprea comut.	420	80	Denso	Secundaria	Dura	
13	Punt. Caprea comut.	990	203	Denso	Secundaria	Dura	
14	Punt. Caprea comut.	1400	144	Denso	Primaria	Randa	
15	Punt. Caprea comut.	820	82	Denso	Primaria	Randa	
16	Punt. Caprea comut.	900	80	Denso	Primaria	Randa	
17	Punt. Caprea comut.	1440	144	Denso	Primaria	Randa	
18	Punt. Caprea comut.	290	84	Denso	Secundaria	Randa	
19	Punt. Caprea comut.	712	102	Denso	Primaria	Dura	
20	Punt. Caprea comut.	280	84	Denso	Primaria	Dura	
21	Punt. Caprea comut.	136	80	Denso	Primaria	Dura	
22	Punt. Caprea comut.	300	20	Denso	Primaria	Dura	
23	Punt. Caprea comut.	410	80	Denso	Primaria	Dura	
24	Punt. Caprea comut.	202	20	Denso	Secundaria	Randa	
25	Punt. Caprea comut.	1140	121	Denso	Adventicia	Randa	
26	Punt. Caprea comut.	1220	121	Denso	Adventicia	Randa	
27	Punt. Caprea comut.	1100	113	Denso	Adventicia	Randa	
28	Punt. Caprea comut.	1220	133	Denso	Adventicia	Randa	
29	Punt. Caprea comut.	1290	150	Denso	Adventicia	Randa	
30	Punt. Caprea comut.	1400	181	Denso	Adventicia	Randa	
31	Punt. Caprea comut.	1080	113	Denso	Adventicia	Randa	
32	Punt. Caprea comut.	1310	118	Denso	Adventicia	Randa	
33	Punt. Caprea comut.	1020	130	Denso	Adventicia	Randa	
34	Punt. Caprea comut.	1150	138	Denso	Adventicia	Randa	
35	Punt. Caprea comut.	420	40	Semibramante	Primaria	Randa	
36	Punt. Caprea comut.	650	122	Denso	Adventicia	Randa	
37	Punt. Caprea comut.	900	90	Denso	Adventicia	Randa	
38	Punt. Caprea comut.	920	121	Denso	Adventicia	Randa	
39	Punt. Caprea comut.	110	81	Denso	Adventicia	Randa	

Figura 19: Tabla de atributos de cada árbol y arbusto obtenido. (Fuente: Elaboración propia).

Extracción de los datos de las imágenes procesadas:

A la hora de comenzar con el procesamiento, una vez cargadas las imágenes en el programa Pix4d, se determinó el recorrido del drone, mostrando las imágenes del mismo. Una vez finalizado el procesamiento se pasó a generar la nube de puntos obtenidos del vuelo.

Es importante saber que el vuelo obtiene esta nube de puntos, pero es necesario ajustar el relevamiento altimétricamente, es por este motivo que se toman los puntos de apoyo y de testeo en campo con el fin de obtener un producto más preciso. Los puntos de apoyo se fueron colocando en el terreno con el cartón

pintado, mientras que los puntos de testeo fueron medidos con el GPS eligiendo para estos puntos notables.

En el siguiente paso es que se obtiene el dataset de elevación digital terrestre, donde se determinan las alturas de los elementos con la superficie como base, en este proyecto es la parte más importante para el estudio de los árboles y arbustos. Una vez delimitado cada elemento dentro del relevamiento en 3D, es que se comenzó a obtener la diferencia de alturas entre modelo digital de terreno y de superficie. La nube de puntos determina el terreno mediante píxeles que los mismos tienen cota (ver imagen anterior), pudiendo así estimar las alturas de los árboles.

Como producto final, se obtuvo un ortomosaico 2D del terreno, donde se generan correcciones para eliminar distorsiones causadas por la inclinación de la cámara o la topografía del terreno. Esto permitió obtener distancias, áreas y proporciones más precisas y correctas representadas en la figura 20 en el MDS.

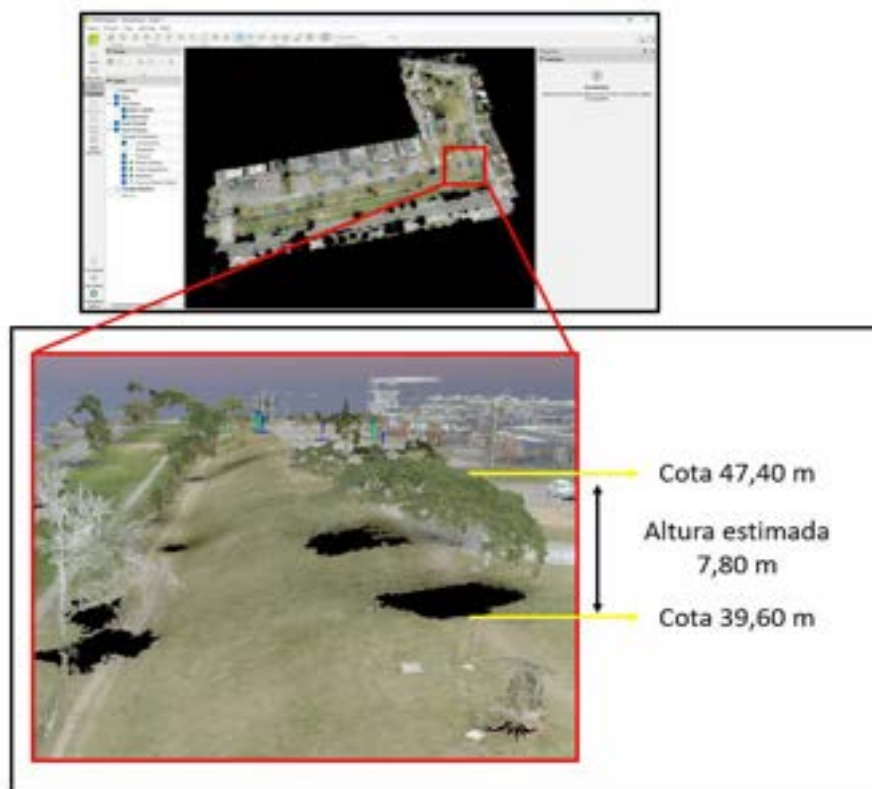


Figura 20: Modelo digital de superficie. (Fuente: Elaboración propia).

Registro de los datos y organización de la base de datos:

En este paso se realizó la incorporación de los datos obtenidos por la interpretación de la altura en la nube de puntos, esta nube de punto fue generada en el uso del Software de *Pix4D*, además la colocación de número de ubicación de cada uno de los árboles o arbustos. En el llenado, es importante colocar los datos precisos porque de estos datos. En la figura 21 se muestra la corrección de los atributos en ArcGIS.

Pto	Muestra	ID	Sector	N. Ubicación	Especie	Altura	Ancho	Follaje	Raíz	Tipo de leña	Estratificación
0	Point	0.1	1	1	Pinec Caprea comut	1055	81	Densa	Secundaria	Leña	
1	Point	0.1	2	2	Pinec Caprea comut	1020	71	Densa	Secundaria	Leña	
2	Point	0.1	3	3	Pinec Caprea comut	930	61	Semiboscageante	Secundaria	Leña	
3	Point	0.1	4	4	Pinec Caprea comut	800	52	Densa	Secundaria	Leña	
4	Point	0.1	5	5	Pinec Caprea comut	1020	68	Densa	Secundaria	Leña	
5	Point	0.1	6	6	Pinec Caprea comut	1110	122	Semiboscageante	Secundaria	Leña	
6	Point	0.1	7	7	Alamo negro Populus	1481	86	Densa	Primaria	Leña	
7	Point	0.1	8	8	Pinec Caprea comut	1047	182	Semiboscageante	Secundaria	Leña	
8	Point	0.1	9	9	Pinec Caprea comut	1411	20	Semiboscageante	Secundaria	Leña	
9	Point	0.1	10	10	Pinec Caprea comut	1044	21	Semiboscageante	Secundaria	Leña	
10	Point	0.1	11	11	Cedro	1110	74	Densa	Primaria	Leña	
11	Point	0.1	12	12	Cedro	420	80	Densa	Secundaria	Leña	
12	Point	0.1	13	13	Alamo negro Populus	990	281	Densa	Secundaria	Leña	
13	Point	0.1	14	14	Alamo negro Populus	1400	144	Densa	Primaria	Leña	
14	Point	0.1	15	15	Alamo negro Populus	1220	82	Densa	Primaria	Leña	
15	Point	0.1	16	16	Alamo negro Populus	800	88	Densa	Primaria	Leña	
16	Point	0.1	17	17	Alamo negro Populus	1400	148	Densa	Primaria	Leña	
17	Point	0.1	18	18	Capota de Suyo	290	84	Densa	Secundaria	Leña	
18	Point	0.1	19	19	Pinec Caprea de Montezuma	1112	102	Densa	Primaria	Leña	
19	Point	0.1	20	20	Pinec Caprea de Montezuma	280	84	Densa	Primaria	Leña	
20	Point	0.1	21	21	Cuyote	110	86	Densa	Primaria	Leña	
21	Point	0.1	22	22	Alamo negro Populus	100	86	Densa	Primaria	Leña	
22	Point	0.1	23	23	Cuyote	410	80	Densa	Primaria	Leña	
23	Point	0.1	24	24	Alamo negro Populus	320	20	Densa	Secundaria	Leña	
24	Point	0.1	25	25	Palmira mexicana Washingtonia	1140	131	Densa	Autóctona	Leña	
25	Point	0.1	26	26	Palmira mexicana Washingtonia	1120	131	Densa	Autóctona	Leña	
26	Point	0.1	27	27	Palmira mexicana Washingtonia	1180	117	Densa	Autóctona	Leña	
27	Point	0.1	28	28	Palmira mexicana Washingtonia	1220	131	Densa	Autóctona	Leña	
28	Point	0.1	29	29	Palmira mexicana Washingtonia	1290	150	Densa	Autóctona	Leña	
29	Point	0.1	30	30	Palmira mexicana Washingtonia	1400	181	Densa	Autóctona	Leña	
30	Point	0.1	31	31	Palmira mexicana Washingtonia	1060	117	Densa	Autóctona	Leña	
31	Point	0.1	32	32	Palmira mexicana Washingtonia	1110	118	Densa	Autóctona	Leña	
32	Point	0.1	33	33	Palmira mexicana Washingtonia	1020	136	Densa	Autóctona	Leña	
33	Point	0.1	34	34	Palmira mexicana Washingtonia	1110	138	Densa	Autóctona	Leña	
34	Point	0.1	35	35	Orizaba	420	80	Semiboscageante	Primaria	Leña	
35	Point	0.1	36	36	Palmira mexicana Washingtonia	850	127	Densa	Autóctona	Leña	
36	Point	0.1	37	37	Palmira mexicana Washingtonia	850	96	Densa	Autóctona	Leña	
37	Point	0.1	38	38	Palmira mexicana Washingtonia	820	147	Densa	Autóctona	Leña	
38	Point	0.1	39	39	Palmira mexicana Washingtonia	110	81	Densa	Secundaria	Leña	

Figura 21: Corrección de la tabla de atributos. (Fuente: Elaboración propia).

Estimación del cálculo:

Con los datos recaudados en campo: especie, altura, ancho, tipo de raíz, follaje y tipo de leña, se plasmaron en la base de datos de SIG y se realizó una extracción a *Excel* para generar un cuadro de cálculo y así aplicar las ecuaciones de absorción de CO₂.

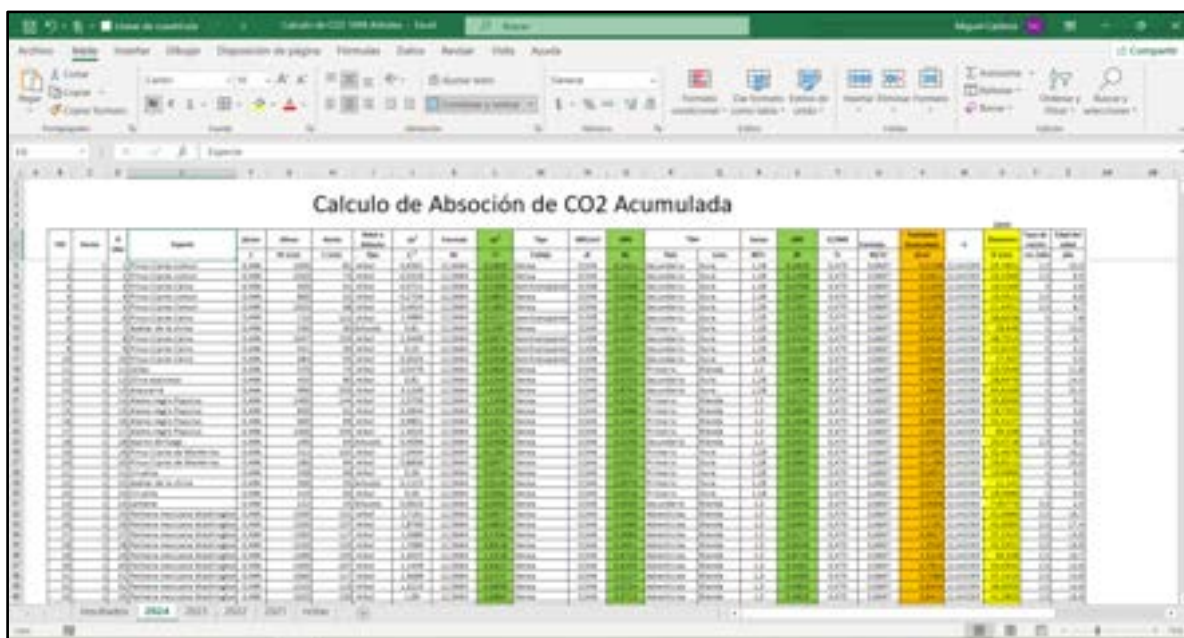


Figura 22: Cálculo de absorción de CO₂. (Fuente: Elaboración propia).

Además de los anteriormente mencionados se agregaron los siguientes cálculos:

El diámetro a partir de la circunferencia o ancho del árbol (cm):

$$\text{Diámetro (cm)} = \text{Circunferencia (cm)} / \pi$$

La tasa de crecimiento de diámetro por año (cm/año) y la tasa de crecimiento de altura por año (cm/año) obtenidos a partir de la aplicación *PictureThis*.

Con las fórmulas utilizadas se obtiene el CO₂ acumulado en la vida de los árboles y arbustos.

Dado que el LATU nos proporcionó su Reporte de sostenibilidad de gases de efecto invernadero del año 2022, surgió la necesidad de estimar la tasa de crecimiento anual de los árboles y arbustos tomados. Esto nos permite estimar la cantidad de CO₂ capturado durante ese año comparando las emisiones emitidas por la institución dándonos un resultado de las emisiones neta.

El diámetro se estima para poder determinar el ancho que puede tener respecto al año anterior. En el caso de los arbustos se creó una tabla de estimación de crecimiento del desarrollo de los mismos, para poder determinar el diámetro de crecimiento por año (cm/año).

Para obtener los datos del levantamientos de árboles y arbustos en Excel, se observó que se tenía que separar esa característica y colocar otra columna (árboles y Arbusto) por qué las características de crecimiento del diámetro por año en árboles existen en estudios previos para el caso de los arbustos no existe la característica, por este motivo se creó el desarrollo de crecimiento de los arbustos dividiéndose entre crecimiento acelerado a lento con promedios, ya que no indica los cm de crecimiento del diámetro anual. Con la tabla se pudo obtener la estimación del crecimiento del diámetro por año del arbusto para poder continuar con el cálculo de la biomasa y las toneladas acumuladas de CO₂. En la siguiente tabla se muestran los tipos de tasa de crecimiento en árboles y arbustos en la tabla 3.

Tasa de crecimiento del diametro			
Tipo	Crecimiento del desarrollo de los arbustos	Rango (cm)	Promedio (cm)
arbusto	Acelerado	5 a 15	7
	Rapido	3,5 a 5	3,5
	Moderado	2 a 3,5	2
	Lento	0 a 2	1

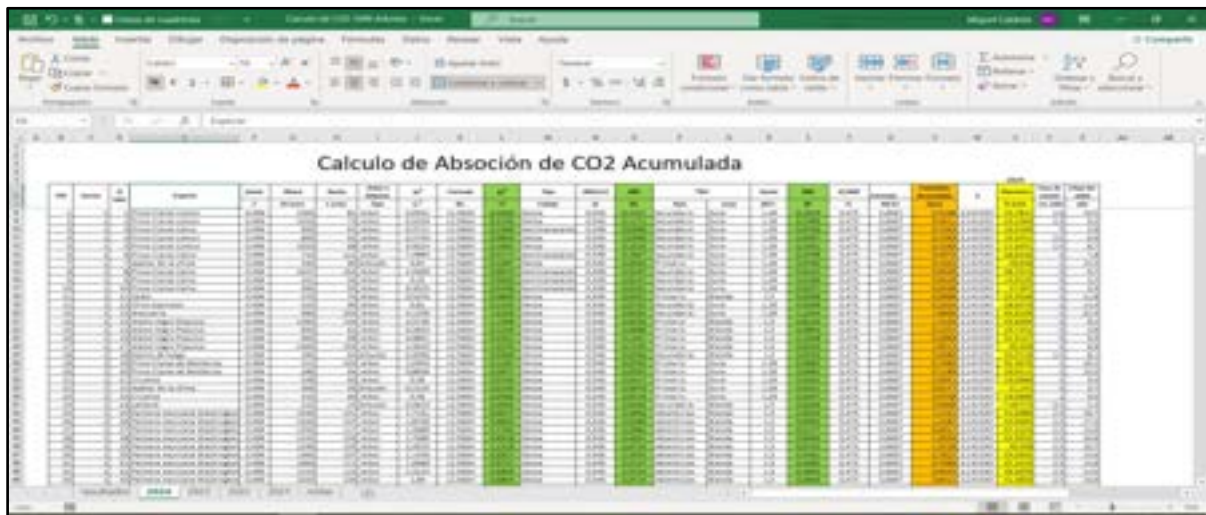
Tabla 3: Tasa de crecimiento del diámetro. (Fuente: Elaboración propia).

Otros de los criterios usados fueron el follaje (denso o semitransparente), el tipo de raíz (primaria o secundaria), el tipo de leña (blanda, dura o semi) estos criterios son importante porque indican la estructura fisiológica de los árboles y arbustos analizados y con los mismos poder determinar la estimación deseo la absorción de CO₂.

Con la recopilación de los datos se realizaron los cálculos:

Con el ancho obtenido en las mediciones, se divide entre π , se obtuvo el diámetro del árbol o arbusto. Con este diámetro obtenido, se le resta la tasa de crecimiento anual del diámetro (cm) de la especie, obteniendo como resultado el cálculo para el año 2023 (se restan a especies actuales la tasa de crecimiento de un año). Luego se aplica el mismo procedimiento asumiendo el diámetro correspondiente al año 2023 y se le resta la tasa de crecimiento para obtener el año previo.

Excel 2024



The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet titled "Calculo de Absorción de CO2 Acumulada". The spreadsheet contains a large table with multiple columns, likely representing different variables related to CO2 absorption. The table is color-coded, with some rows highlighted in green and others in yellow. The Excel interface is visible, showing the ribbon at the top and the status bar at the bottom.

Figura 23: Cálculo de absorción de CO₂ acumulado 2024. (Fuente: Elaboración propia).

Se muestra en la figura 23 debido a que el LATU en el pasado hizo un reporte de sostenibilidad GEI que presentó resumidamente los resultados del Inventario GEI del LATU y Latitud realizado para el año 2022.

“El inventario GEI (basado en la norma ISO 14064-1:2018) tiene como objetivo identificar y cuantificar las emisiones y remociones GEI para la evaluación de su reducción”. (LATU, 2022)

Análisis de la información obtenida

Finalmente, en la etapa de procesamiento final, fue donde una vez recopilados los datos, se elaboró una hoja de cálculo de Excel para poder cuantificar la absorción acumulada de cada árbol y arbusto, la salida de mapa final y un archivo kmz con la “ficha” georreferenciada de los árboles y arbustos a estudiar (especie, diámetro, altura y los demás todos recopilados).

Dentro de las variables, se encuentran las variaciones climáticas que, debido a la estación del año, permitió poder identificar la cantidad de árboles y arbustos, especies presentes. Otro factor que favoreció fue realizar los relevamientos en invierno, por lo que el follaje de los árboles y arbustos aún no había comenzado a crecer y se facilitaba su toma de identificación de cada uno de ellos. Cercano a la finalización del trabajo, faltando 2 o 3 días de campo, comenzó la primavera, mostrando una mayor presencia en el follaje de la vegetación.

Limitantes en el alcance del trabajo:

- La incorporación de Qfield como herramienta nueva. Debido a ser una herramienta de innovación para el equipo, y la necesidad del uso del sistema para la precisión de los datos recolectados.
- La aplicación del Programa de Pix4d para generar o gestionar el proceso inicial, debido a la georreferenciación de las imágenes.
- La densidad de los árboles y arbustos para la interpretación de la altura.

Resultados

En este proyecto se registraron la cantidad de 708 árboles y 341 arbustos que totalizan 1049 elementos de vegetación divididos por zona. En la figura 24 y la tabla 4 se representan los árboles y arbustos georreferenciados calificados por su sector.



Figura 24: Árboles y arbustos en los sectores del LATU. (Fuente: Elaboración propia).

Sector	Árbol	Arbusto	Total
1	87	47	134
2	87	44	131
3	90	40	130
4	186	69	255
5	25	57	82
6	39	56	95
7	194	28	222
Total de Árboles y Arbustos	708	341	1049

Tabla 4: Cantidad de ejemplares por sector. (Fuente: Elaboración propia).

En la tabla 5 se muestran los resultados de los cálculos obtenidos, el resultado se expresa en toneladas absorbidas (514) por los árboles y arbustos durante toda su vida. Mediante la búsqueda de la tasa de crecimiento de los árboles anuales (diámetro y altura), se obtuvo la captura de CO₂ acumulada desde el año 2021 al 2024.

Por Años	Toneladas Acumulada	Entre Años	Estimacion de captura para el año
2024	514	2024	117
2023	398	2023	88
2022	310	2022	79
2021	231		

Tabla 5: Resultado de la estimación acumulada y estimación anual. (Fuente: Elaboración propia).

Se realizó una comparación de quien absorbe más CO₂ entre árboles y arbusto por toneladas acumuladas al 2024, con la cantidad medida para cada tipo es:

Tipo	Toneladas Acumulada CO2
Arboles	504,34
Arbusto	10,06

Tabla 6: Toneladas absorbidas acumuladas de CO₂. (Fuente: Elaboración propia).

En los resultados obtenidos los árboles absorben mayor cantidad de CO₂ que los arbustos que absorben una insignificante cantidad en comparación.

Con los datos adquiridos en el relevamiento, georreferenciados, se generó la información acerca las zonas, los árboles y arbustos del predio, para tener acceso a la información se creó un KMZ, en donde se puede visualizar la información desde un teléfono móvil o computadora previamente descargado el Google Earth y poder observar la base de datos. Esto, con la finalidad de poder darle uso a la información desde una manera rápida y accesible. Se presenta una imagen de la visualización del KMZ en la figura 25.



Figura 25: Visualización del KMZ. (Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente en el **Anexo** se muestra el resultado de la salida de mapa de cada sector junto a su respectivo inventario de árboles y arbustos que se encuentre en la respectiva área.

Cronograma de actividades

Actividades	Semanas															
	5-Ago	12-Ago	15-Ago al 17-Ago	24-Ago	3-Sep al 5-Sep	7-set	14-set	21-set	28-set	5-Oct	12-Oct	19-Oct	1-Nov	4-Nov al 9-Nov	11-Nov al 16-Nov	18-Nov al 23-Nov
Horas	12	16	24	8	24	8	8	8	8	8	8	8	10	24	24	24
Discusión de tema y asesoría																
abordaje																
Identificación de herramienta																
Vuelo																
Recoplación de datos																
Procesamiento de imágenes																
Procesamiento de los datos																
Elaboracion de Trabajo																

Tabla 7: Cronograma de actividades. (Fuente: Elaboración propia).

Dentro del cronograma de actividades, se desglosa los distintos procedimientos a tratar en este proyecto. Como se detalló anteriormente, se fue abordando el trabajo por partes, una planificación inicial, la etapa de campo y por último su procesamiento.

Durante la primera semana del proyecto, hubo reuniones con el tutor para discutir y definir el objetivo del informe. En esta etapa, también se terminó de acordar la propuesta con el LATU, quien proporcionó los permisos necesarios para poder trabajar en la zona de estudio que era en su predio. A su vez se empezó con la justificación del proyecto y cómo plantear los antecedentes del objetivo.

La segunda y tercera semana, el enfoque fue la planificación de las herramientas que se iba a necesitar para la recolección de datos. Se determinó que se usaría un drone para realizar vuelos sobre el predio y herramientas GIS para el procesamiento de la información.

En la tercera semana, se realizó el vuelo de drone, con las que se obtuvo las imágenes necesarias para iniciar el procesamiento de datos, en la cual el Pix4D para generar la nube de puntos y tener un MDT aproximado del predio.

A lo largo de las semanas 6 a 10, se realizaron varias salidas a campo, para complementar los datos obtenidos por el drone. Durante estas salidas se utilizó herramientas como el Qfield, para ubicar los árboles y arbustos, el PictureThis como

ayuda a identificar las especies, la mira topográfica para obtener más datos de las alturas y se realizaron mediciones de diámetro a la altura del pecho (DAP) para obtener información necesaria para calcular la estimación de absorción de carbono.

Una vez reunidos todos los datos necesarios, entre las semanas 11 y 14 fueron dedicadas al procesamiento y análisis de la información. Para ello, ingresando en Gis y en Excel comenzando con los cálculos de la estimación.

Finalmente, el tiempo fue dedicado a la finalización del informe, detallando datos previamente obtenidos.

Conclusión

Como conclusión de este trabajo, se pudo crear una metodología que se aplicó y replicable, la cual pueda ser utilizada a futuro, dejando líneas de investigación abiertas. Además de brindar un precedente útil para futuras investigaciones y proyectos ambientales, se logró demostrar la importancia del uso de herramientas GIS en el proceso de datos en este tipo de investigaciones, junto con la aplicación de fotogrametría y el Qfield para la recopilación de datos.

Existen varias formas para que las empresas reduzcan las emisiones de carbono, una de ellas puede ser la disminución de consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero, por ejemplo, con los medios de transporte. Una solución podría ser promover el uso de energías renovables, para poder mitigar el CO₂. En el caso de no poder eliminar las emisiones, se puede ver la forma de compensar mediante proyectos que ayuden al ecosistema tales como una reforestación con el fin de generar una mayor captura de carbono, eliminando una mayor cantidad de CO₂ del ambiente.

LATU proporcionó el estudio del reporte de sostenibilidad GEI (gases de efecto invernadero), donde presenta resumidamente los resultados del inventario GEI del LATU y latitud, realizado en el 2022. También allí, se identifica y cuantifica las emisiones y remociones GEI para la evaluación de sus residuos, basándose en la norma ISO 14064-1:2018, concluyendo con un resultado una emisión de 2244 toneladas de CO₂. (LATU, 2022) En este trabajo se obtuvo la cuantificación sobre la estimación de la absorción de CO₂ para el año 2022, teniendo como resultado 79 toneladas de CO₂ absorbidas. De las 2244 toneladas emitidas, con cálculo efectuado solo se podría absorber un 3,5 % con los árboles y arbustos del predio del LATU.

Dentro de las lecciones aprendidas, lo más importante fue la toma de decisiones en el ámbito grupal, la cual ayudó debido a que había una buena organización previa. Otro factor fue que el familiarizarse con nuevas herramientas para de esta manera poder explotar aún más los mecanismos para la obtención de datos dentro de este tipo de trabajo profesional.

Sin perjuicio de lo anterior, esta investigación deja una gran incertidumbre a futuras situaciones, para las empresas que no logren cumplir con los límites de emisiones establecidos. A falta de alternativas de cómo solucionar este problema, se deja como línea de investigación abierta. Teniendo en cuenta la implementación de estrategias más puntuales, como aumentar las políticas que incentiven la transición hacia una economía basada en bajar las emisiones de carbono. Estas ideas son

fundamentales para asegurar una mejora sostenible al impacto ambiental a largo plazo. Sin embargo, actualmente muchas empresas están optando por estrategias superficiales. La estrategia más conocida son los bonos verdes, estos a pesar de ser una herramienta valiosa y con mucho potencial, como financiar proyectos ecológicos. Suelen ser utilizados para proyectar una imagen responsable para las empresas, pero sin abordar los cambios estructurales necesarios. Esto pone en reflexión sobre la necesidad urgente de políticas más estrictas y que éstas garanticen un verdadero compromiso con la reducción de emisiones.

Glosario

1. **Absorción de carbono:** Proceso mediante el cual los árboles y arbustos capturan dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo almacenan en su biomasa a través de la fotosíntesis.
2. **ArcGIS/QGIS/QField:** Herramientas de software de Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizadas para la recopilación, procesamiento y análisis de datos geoespaciales en este proyecto.
3. **Biomasa:** Masa total de materia orgánica, incluyendo raíces, hojas, troncos y ramas, que conforman un organismo vegetal y que actúa como depósito de carbono.
4. **Cambio climático:** Modificaciones a largo plazo de las temperaturas y patrones climáticos debido a factores naturales y, principalmente, a actividades humanas como la quema de combustibles fósiles.
5. **Capacidad de Absorción:** es la habilidad de una organización para reconocer, asimilar, transformar e integrar información nueva y externa para aplicarla en el ámbito comercial.
6. **CO₂ (Dióxido de carbono):** Gas de efecto invernadero generado por actividades humanas y capturado por la vegetación como parte del ciclo del carbono.
7. **Cuantificación:** es el proceso de expresar numéricamente o de otra forma la medida de algo.
8. **DAP (Diámetro a la Altura del Pecho):** Medida estándar utilizada en dendrometría para calcular el grosor de un tronco de árbol a 1.30 metros del suelo. (UNAM, s.f.)
9. **Fotogrametría:** Técnica de medición y obtención de información de objetos físicos mediante imágenes fotográficas, aplicada en este proyecto para calcular alturas.
10. **Fotosíntesis:** Proceso biológico mediante el cual las plantas convierten dióxido de carbono, agua y luz solar en oxígeno y glucosa, almacenando energía y carbono.

11. **LATU:** (El laboratorio tecnológico del Uruguay) impulsar el desarrollo sustentable del país y la innovación, tiene una vasta historia de apoyo a la industria con Investigación, Desarrollo e Innovación
12. **Nube de puntos:** Representación tridimensional obtenida a partir de vuelos de dron, utilizada para analizar la altura de los árboles y el terreno.
13. **Vegetación:** es el conjunto de plantas que se encuentran en un lugar o región determinada
14. **Mira Topográfica:** Es una regla graduada que debe ser utilizada con ayuda de un nivel para calcular las diferencias de alturas o desniveles de polígonos o terrenos.

Bibliografía

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2024. *La economía y el cambio climático en Uruguay: síntesis* [en línea]. CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3800-la-economia-cambio-climatico-uruguay-sintesis>. [Consulta: 7 de septiembre de 2024].

CIU (Cámara de Industrias del Uruguay). 2024. Resumen taller: Introducción y relevamiento de interés en Huella de Carbono. Disponible en: <https://www.ciu.com.uy/novedades-ciu/resumen-taller-huella-de-carbono/>. [Consulta: 9 de septiembre de 2024].

COMPENSA FOREST. 2024. Los sistemas forestales como sumideros de CO₂ [Blog en línea]. Disponible en: <https://compensaforest.wordpress.com/los-sistemas-forestales-como-sumideros-de-co2/>. [Consulta: 1 de noviembre de 2024].

Coria, A., Dalva, D., y Pagola, I. 2011. *Responsabilidad social y medio ambiente desde la perspectiva actual del cambio climático*. Monografía de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias Económicas y de Administración. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/431>. [Consulta: 5 de agosto de 2024].

Geoinnova. 2024. Calentamiento global, cambio climático y efecto invernadero. [Blog en línea]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/calentamiento-global-cambio-climatico-efecto-invernadero/>. [Consulta: 7 de agosto de 2024].

Geoinnova. 2024. *La norma UNE-EN ISO 14064-1:2019 es aplicable desde 2022*. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-norma-une-en-iso-14064-12019-aplicable-desde-2022/>. [Consulta: 3 de septiembre de 2024].

Hernández, M. et al. 2018. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [en línea], 24(5), 671-688. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000500671. [Consulta: 12 de agosto de 2024].

IGN (Instituto Geográfico Nacional). s.f. Base de Datos Geográfica [en línea]. Disponible en: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf>. [Consulta: 3 de septiembre de 2024].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* [en línea]. Disponible en:

https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/download/259/244/. [Consulta: 6 de agosto de 2024].

Kebbe. 2022. *La importancia del ecosistema forestal*. [PDF en línea]. Francia: IEFC. Disponible en: https://kebbe.iefc.net/wp-content/uploads/2022/03/KEBBE-B1_Secondario_2-La-importancia-del-ecosistema-forestal_A1_ES-1.pdf. [Consulta: 5 de agosto de 2024].

Kebbe. 2024. Kebbe: Knowledge Exchange for the Bioeconomy [sitio web]. Francia: IEFC. Disponible en: <https://kebbe.iefc.net/es/>. [Consulta: 5 de agosto de 2024].

LATU. 2022. *Reporte de sostenibilidad GEI 2022*. [PDF en línea]. Montevideo: LATU y Latitud. Disponible en: https://latu.cdn.prismic.io/latu/ZI8PwZm069VX1cdp_Opiniondeverificacio%CC%81n14064-1.pdf. [Consulta: 12 de agosto de 2024].

LinkedIn. 2024. Los pasos esenciales en la gestión de proyectos SIG [en línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/advice/1/what-essential-steps-gis-project-management?lang=es>. [Consulta: 12 de octubre de 2024].

Malán Schnyder, C. 2017. *Cambio Climático y Desarrollo Sustentable en Uruguay: iniciativas impulsadas para la adaptación y mitigación; y su potencial implementación en el territorio nacional* [en línea]. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/20954>. [Consulta: 5 de octubre de 2024].

Ministerio de Ambiente (Uruguay). 2016. Política Nacional de Cambio Climático [en línea]. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/politica-nacional-cambio-climatico>. [Consulta: 21 de septiembre de 2024].

Ministerio de Ambiente (Uruguay). 2024. Huella de carbono. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/huella-carbono>. [Consulta: 21 de septiembre de 2024].

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (España). 2020. *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono* [en línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guiapa_tcm30-479094.pdf. [Consulta: 5 de agosto 2024].

NASA. 2024. Ciclo del carbono: Página para colorear. Disponible en: https://spaceplace.nasa.gov/coloring-pages/en/Carbon_Cycle_Espanol.pdf. [Consulta: 15 de octubre de 2024].

Planted Forests. 2024. Planted Forests: The website for planted forests research [sitio web]. Francia: IEFC. Disponible en: <https://www.plantedforests.org/es/>. [Consulta: 13 de noviembre de 2024].

QField. s.f. Conceptos de inicio rápido [en línea]. Disponible en: <https://docs.qfield.org/es/get-started/concepts/>. [Consulta: 15 de agosto de 2024].

Selectra. 2024. El cambio climático y sus efectos: fenómenos climáticos extremos [en línea]. Disponible en: <https://climate.selectra.com/es/que-es/efecto-invernadero>. [Consulta: 7 de noviembre de 2024].

UAV LATAM. s.f. Pix4D: ¿Qué es, para qué sirve y ejemplos? [en línea]. Disponible en: <https://uavlatam.com/pix4d-que-es-para-que-sirve-ejemplos/>. [Consulta: 10 de noviembre de 2024].

Uruguay. 2017. Decreto N° 310/017, normas y avisos legales del Uruguay. Publicación Oficial: IMPO. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/310-2017>. [Consulta: 17 de septiembre de 2024].

Villegas, Leigh. 2021. Su empresa puede ayudar a Uruguay a alcanzar emisiones de carbono netas cero y reducir el cambio climático [en línea]. *El Observador*. Disponible en: <https://www.elobservador.com.uy/nota/su-empresa-puede-ayudar-a-uruguay-a-alcanzar-emisiones-de-carbono-netas-cero-y-reducir-el-cambio-climatico--20217614590>. [Consulta: 28 de septiembre de 2024].

Anexos

Inventario y salida de mapa de cada sector

SECTOR 1



Figura 26: Sector 1 Árboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se identificaron 87 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Álamo negro: 5 ejemplares
- Araucaria: 2 ejemplares
- Ceibo: 2 ejemplares
- Ciruelos: 6 ejemplares
- Espino negro: 5 ejemplares
- Eucalyptus: 4 ejemplares
- Flor de cerezo: 1 ejemplar
- Fresno: 6 ejemplares
- Laurel: 1 ejemplar
- Liquidambar: 1 ejemplar
- Olivo espinoso: 3 ejemplares
- Ombú: 9 ejemplares
- Palmera mexicana Washingtonia: 10 ejemplares
- Palmera Pindo: 3 ejemplares
- Paraíso: 2 ejemplares

- Pinus Ciprés Calvo: 13 ejemplares
- Pinus Ciprés común: 4 ejemplares
- Pinus Ciprés de Monterrey: 7 ejemplares
- Pinus Enebro: 2 ejemplares
- Pinus Tuya oriental: 1 ejemplar

También se registraron 47 arbustos correspondientes a las siguientes especies:

- Aligustres japoneses: 2 ejemplares
- Azahar de la china: 24 ejemplares
- Drácena: 3 ejemplares
- Durillo: 2 ejemplares
- Espino de fuego: 8 ejemplares
- Glicina: 5 ejemplares
- Lantana: 1 ejemplar
- Pasionaria: 1 ejemplar
- Piracanto: 1 ejemplar

SECTOR 2



Figura 27: Sector 2 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se identificaron 87 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Álamo Abedul gris: 4 ejemplares
- Álamo negro Populus: 5 ejemplares
- Casuarina: 1 ejemplar
- Falso pimentero: 1 ejemplar
- Guanacaste Timbo: 2 ejemplares
- Olivo espinoso: 1 ejemplar
- Palma Pindo: 1 ejemplar
- Palmera mexicana Washingtonia: 13 ejemplares
- Pino real: 1 ejemplar
- Pino rojo americano: 2 ejemplares
- Pinus Amarillo: 4 ejemplares
- Pinus australiano: 1 ejemplar
- Pinus Carrasco: 1 ejemplar
- Pinus Casuarina: 2 ejemplares
- Pinus Ciprés Calvo: 5 ejemplares
- Pinus de Virginia: 11 ejemplares

- Pinus insigne: 2 ejemplares
- Pinus piñonero: 5 ejemplares
- Pinus Taeda: 11 ejemplares
- Pinus Torrey: 9 ejemplares
- Roble australiano: 1 ejemplar
- Yuca pie de elefante: 4 ejemplares

Se registraron también 44 arbustos correspondientes a las siguientes especies:

- Aligustre japonés: 1 ejemplar
- Azahar de la china: 12 ejemplares
- Drácena: 2 ejemplares
- Glicina: 15 ejemplares
- Hibiscus: 3 ejemplares
- Jazmín amarillo: 3 ejemplares
- Magnolia: 1 ejemplar
- Piracanto: 7 ejemplares

SECTOR 3

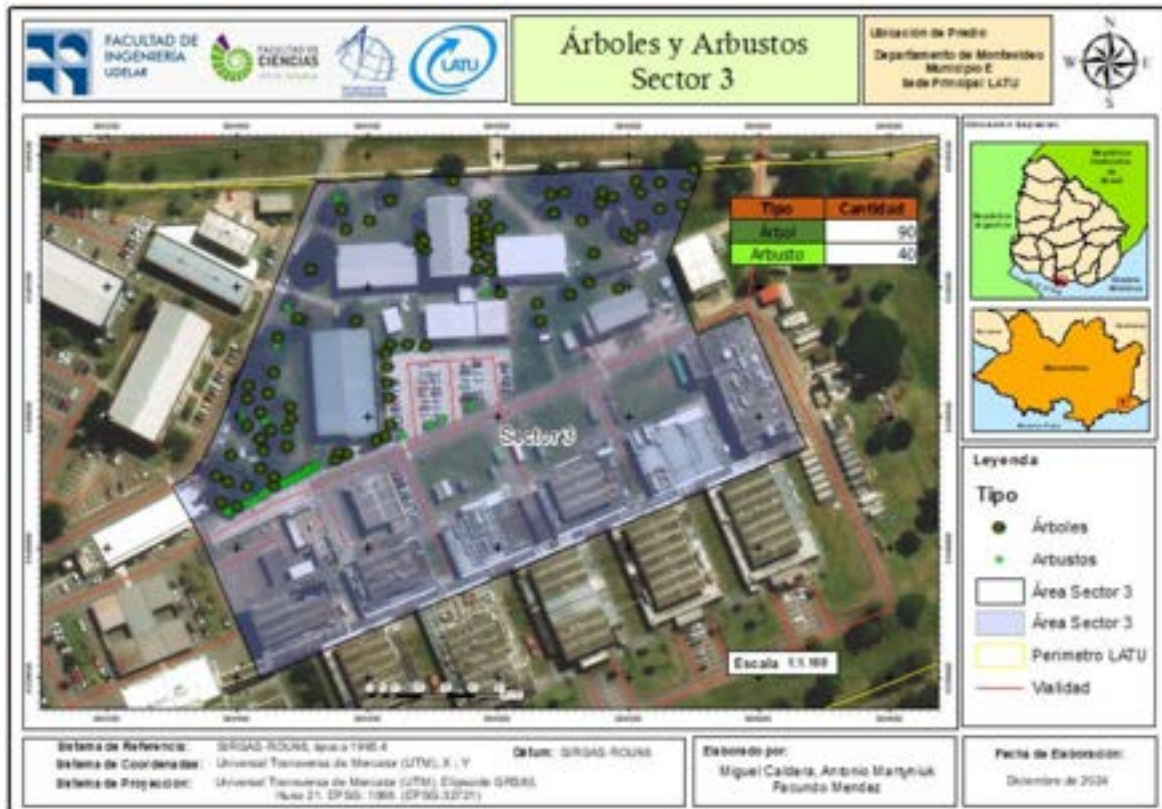


Figura 28: Sector 3 Árboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se registraron 90 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Acacia: 2 ejemplares
- Álamo negro Populus: 16 ejemplares
- Araucaria: 3 ejemplares
- Ciruelos: 5 ejemplares
- Cupressus: 1 ejemplar
- Eucalyptus: 1 ejemplar
- Eucalyptus Manzano de argiles: 5 ejemplares
- Eucalyptus Paraíso: 1 ejemplar
- Falso pimentero: 1 ejemplar
- Fresno: 1 ejemplar
- Fresno rojo: 12 ejemplares
- Guanacaste Timbo: 2 ejemplares
- Liquidambar: 2 ejemplares
- Pinus Amarillo: 5 ejemplares
- Pinus Ciprés Calvo: 2 ejemplares
- Pinus Ciprés de Monterrey: 1 ejemplar

- Pinus de Virginia: 5 ejemplares
- Pinus insigne: 1 ejemplar
- Pinus rojo americano: 3 ejemplares
- Pinus Taeda: 8 ejemplares
- Pinus Torrey: 1 ejemplar
- Roble australiano: 2 ejemplares
- Roble negro: 1 ejemplar
- Roble serrucho: 2 ejemplares

Se contabilizaron también 40 arbustos correspondientes a:

- Azahar de la china: 1 ejemplar
- Espino de fuego: 38 ejemplares
- Limonero: 1 ejemplar

SECTOR 4



Figura 29: Sector 4 Árboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se registraron 186 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Álamo negro Populus: 42 ejemplares
- Ceibo: 3 ejemplares
- Cerezo japonés: 1 ejemplar
- Fresno: 12 ejemplares
- Guanacaste Timbo: 11 ejemplares
- Ibirapitá: 1 ejemplar
- Laurel: 8 ejemplares
- Liquidambar: 2 ejemplares
- Palma de jardín: 4 ejemplares
- Palmera Canaria: 3 ejemplares
- Pinus Casuarina: 8 ejemplares
- Pinus Ciprés abanico: 3 ejemplares
- Pinus Ciprés Arizona: 4 ejemplares
- Pinus Ciprés Calvo: 45 ejemplares
- Pinus Ciprés de Monterrey: 3 ejemplares
- Pinus rojo americano: 4 ejemplares

- Pinus Taeda: 17 ejemplares
- Pinus Torrey: 2 ejemplares
- Roble de Shumard: 1 ejemplar
- Sauce Blanco: 1 ejemplar
- Sauce Criollo: 5 ejemplares
- Sauce Eléctrico: 4 ejemplares
- Yuca pie de elefante: 2 ejemplares

Se contabilizaron también 69 arbustos correspondientes a:

- Aligustre japonés: 46 ejemplares
- Árbol del cepillo: 10 ejemplares
- Azahar de la china: 4 ejemplares
- Drácena: 1 ejemplar
- Durillo: 4 ejemplares
- Espino de fuego: 3 ejemplares
- Ligustrum: 1 ejemplar

SECTOR 5



Figura 30: Sector 5 Árboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se registraron 25 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Álamo negro Populus: 19 ejemplares
- Fresno: 5 ejemplares
- Guanacaste Timbo: 1 ejemplar

Se registraron también 57 arbustos de una única especie:

- Espino de fuego: 57 ejemplares

SECTOR 6



Figura 31: Sector 6 Árboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se identificaron 37 árboles correspondientes a las siguientes especies:

- Acacia: 3 ejemplares
- Álamo negro Populus: 2 ejemplares
- Cafetero de Kentucky: 1 ejemplar
- Catalpas: 4 ejemplares
- Guillomos: 1 ejemplar
- Laurel: 11 ejemplares
- Naranjo: 13 ejemplares
- Pinus Ciprés Calvo: 1 ejemplar
- Pinus Ciprés de Monterrey: 1 ejemplar

Además, se contabilizaron 56 arbustos de las siguientes especies:

- Duranta: 1 ejemplar
- Durillo: 1 ejemplar
- Espino de fuego: 52 ejemplares
- Magnolia: 1 ejemplar
- Viburnum: 1 ejemplar

SECTOR 7



Figura 32: Sector 7 Aboles y Arbustos. (Fuente: Elaboración propia).

Se registraron 194 árboles distribuidos en las siguientes especies:

- Álamo negro Populus: 93 ejemplares
- Araucaria: 4 ejemplares
- Butia: 3 ejemplares
- Ciruelos: 4 ejemplares
- Flor de cerezo: 1 ejemplar
- Fresno de Arizona: 2 ejemplares
- Guanacaste Timbo: 1 ejemplar
- Laurel: 11 ejemplares
- Mimosa: 1 ejemplar
- Olivo Espinoso: 3 ejemplares
- Palmera abanico mexicana: 3 ejemplares
- Palmera Canaria: 3 ejemplares
- Palmera Datilera: 2 ejemplares
- Palmera mexicana Washingtonia: 5 ejemplares
- Palmera Pindo: 2 ejemplares

- Pinus Ciprés Calvo: 27 ejemplares
- Pinus Ciprés de los pantanos: 2 ejemplares
- Pinus de Virginia: 1 ejemplar
- Pinus Falso Ciprés: 11 ejemplares
- Pinus insigne: 2 ejemplares
- Pinus Taeda: 5 ejemplares
- Pinus Tuya oriental: 1 ejemplar
- Pitosporo: 1 ejemplar
- Roble australiano: 2 ejemplares
- Sauce Blanco: 3 ejemplares
- Sauce Criollo: 1 ejemplar

Por último, se contabilizaron 28 arbustos de las siguientes especies:

- Abelia: 5 ejemplares
- Aligustre japonés: 2 ejemplares
- Azahar de la china: 1 ejemplar
- Bonetero: 1 ejemplar
- Drácena: 2 ejemplares
- Durillo: 1 ejemplar
- Espino de fuego: 12 ejemplares
- Jasmín amarillo: 1 ejemplar
- Ligustrum: 1 ejemplar
- Membrillo japonés: 1 ejemplar
- Yaupon: 1 ejemplar

Cartografía



FACULTAD DE INGENIERÍA UDELAR

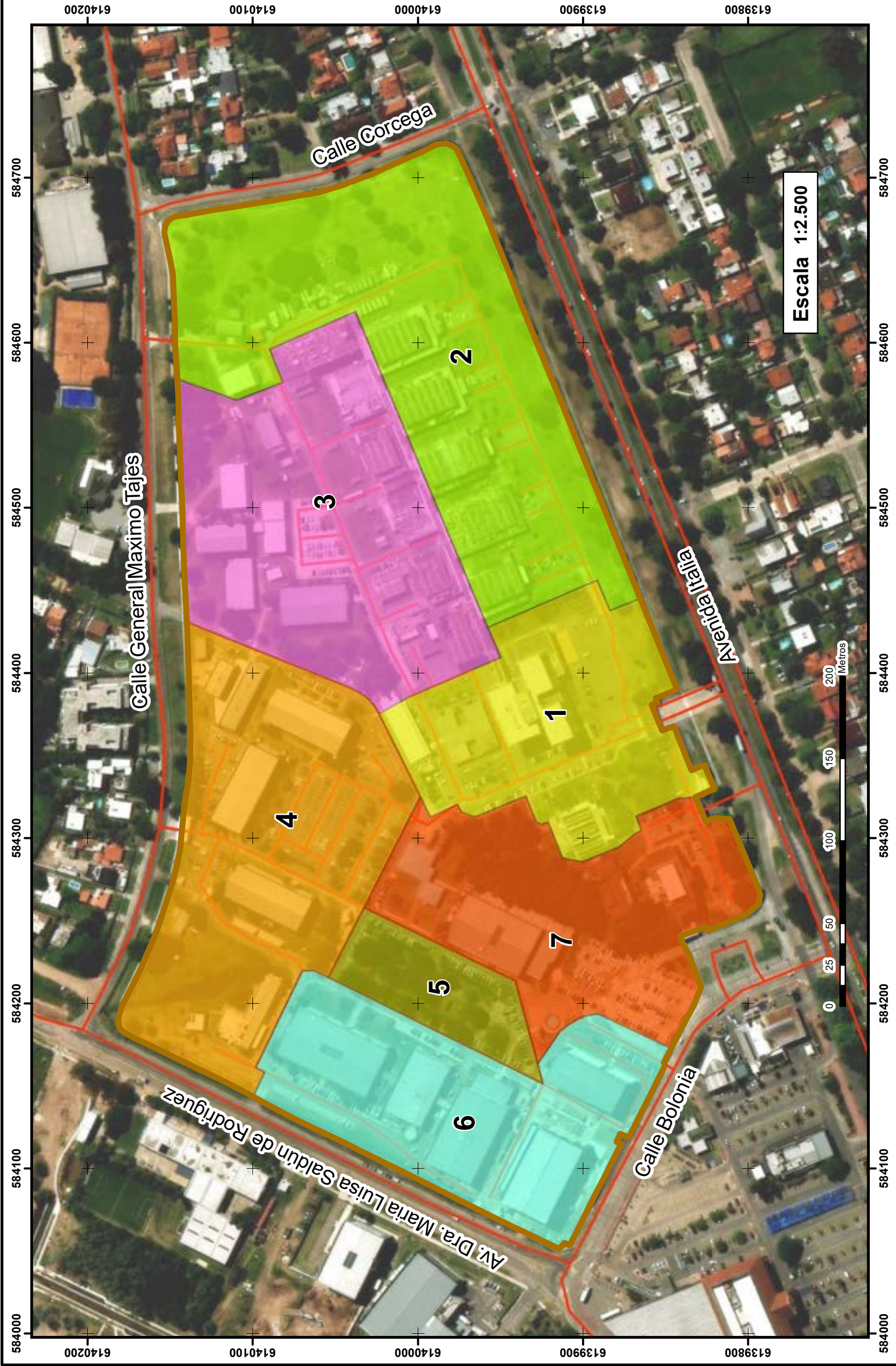
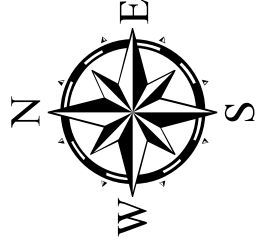


FACULTAD DE CIENCIAS UDELAR



Sectores del Predio LATU

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

- Sector 1
- Sector 2
- Sector 3
- Sector 4
- Sector 5
- Sector 6
- Sector 7
- Vialidad
- Perimetro

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Noviembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR



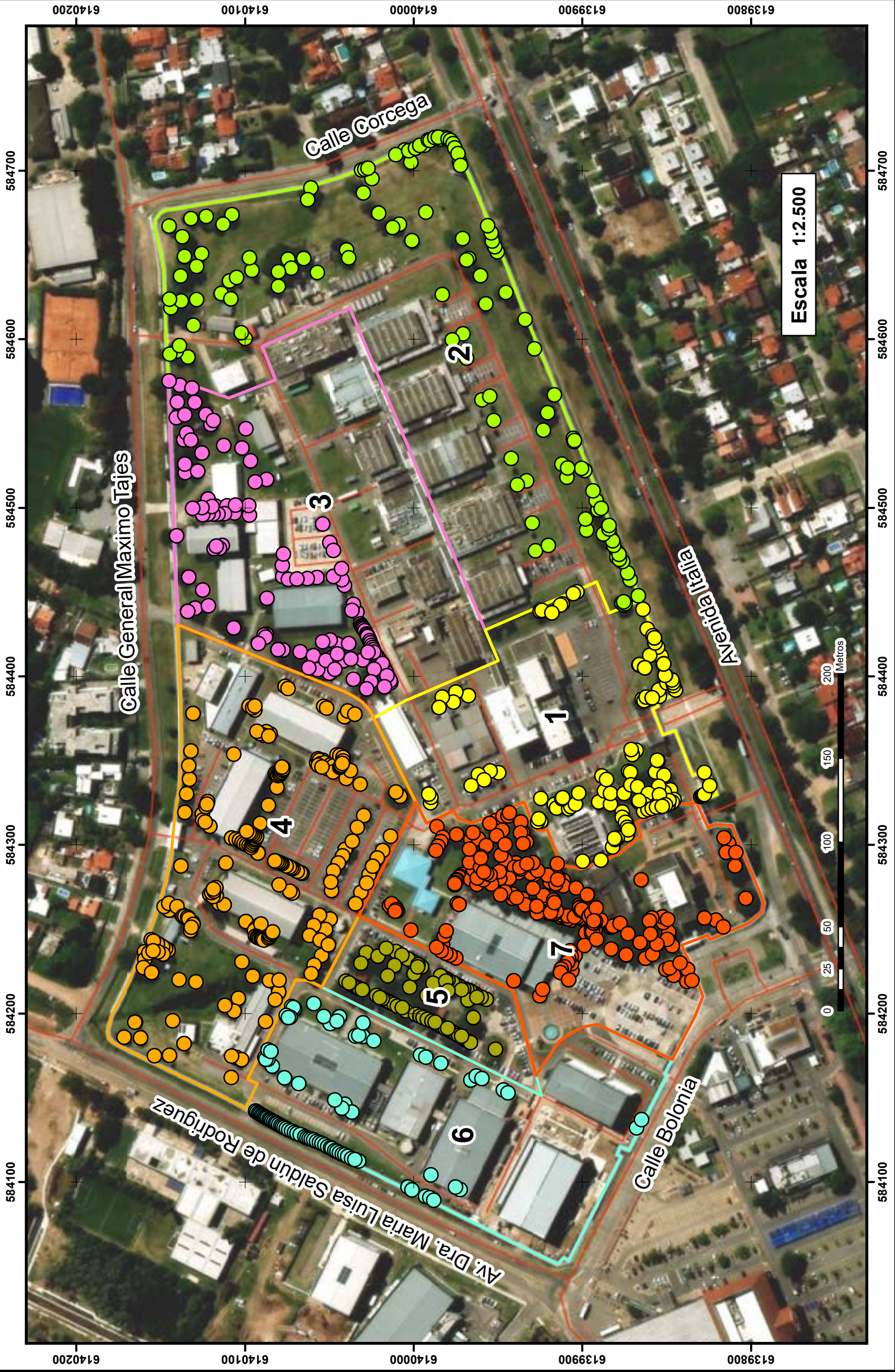
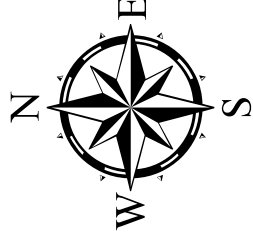
TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



LATU

Árboles y Arbustos levantados en LATU

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

- Árboles y Arbustos Sector 1
- Árboles y Arbustos Sector 2
- Árboles y Arbustos Sector 3
- Árboles y Arbustos Sector 4
- Árboles y Arbustos Sector 5
- Árboles y Arbustos Sector 6
- Árboles y Arbustos Sector 7

- Sector 1
- Sector 2
- Sector 3
- Sector 4
- Sector 5
- Sector 6
- Sector 7
- Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera
Antonio Martyniuk
Facundo Mendez
Fecha de Elaboración: Noviembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR

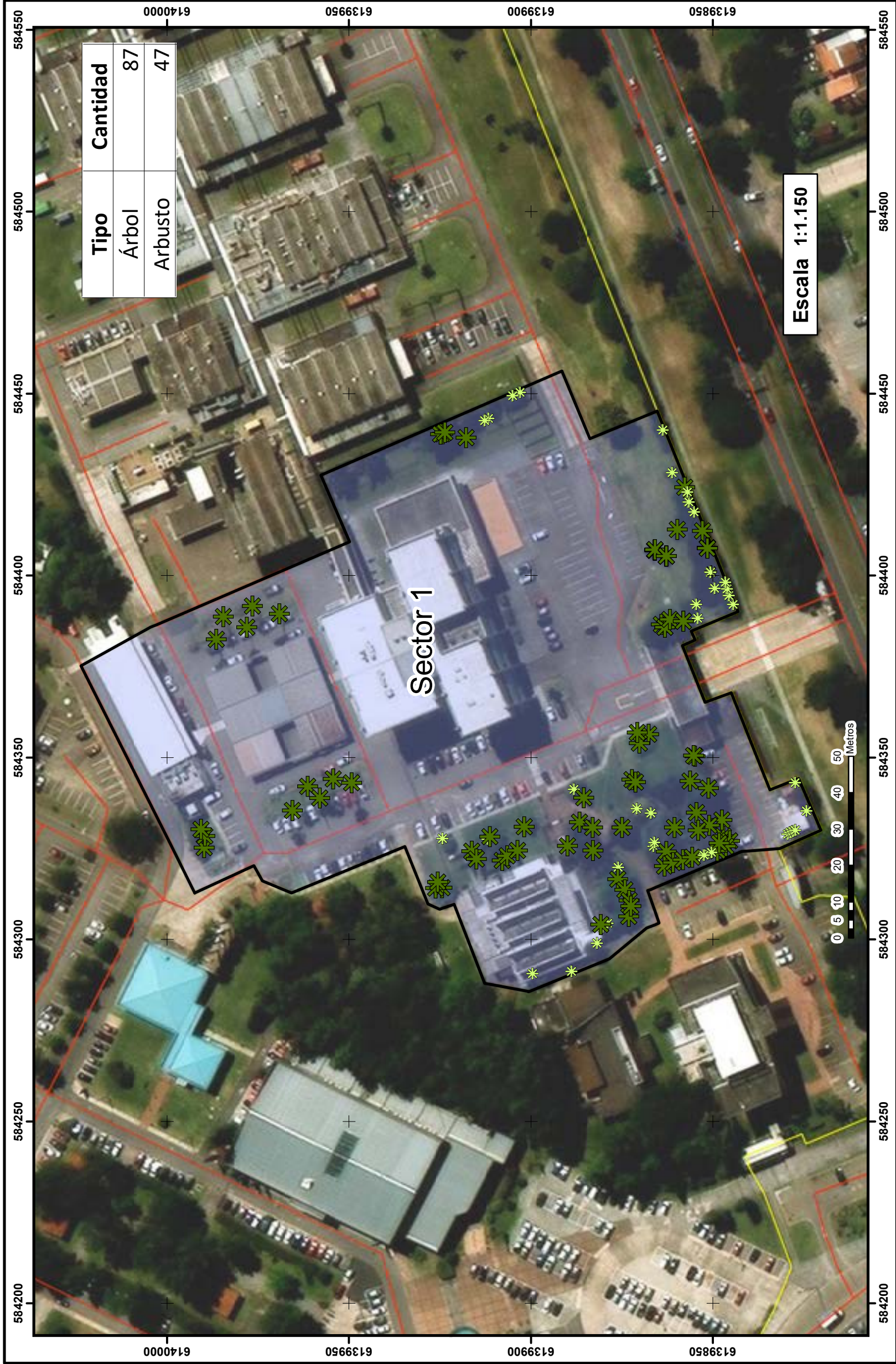
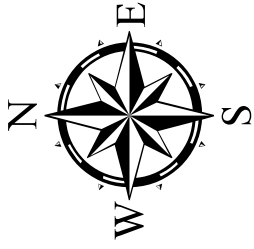


TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



Árboles y Arbustos Sector 1

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

Tipo



Árboles



Arbustos



Área Sector 1



Perimetro LATU



Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR

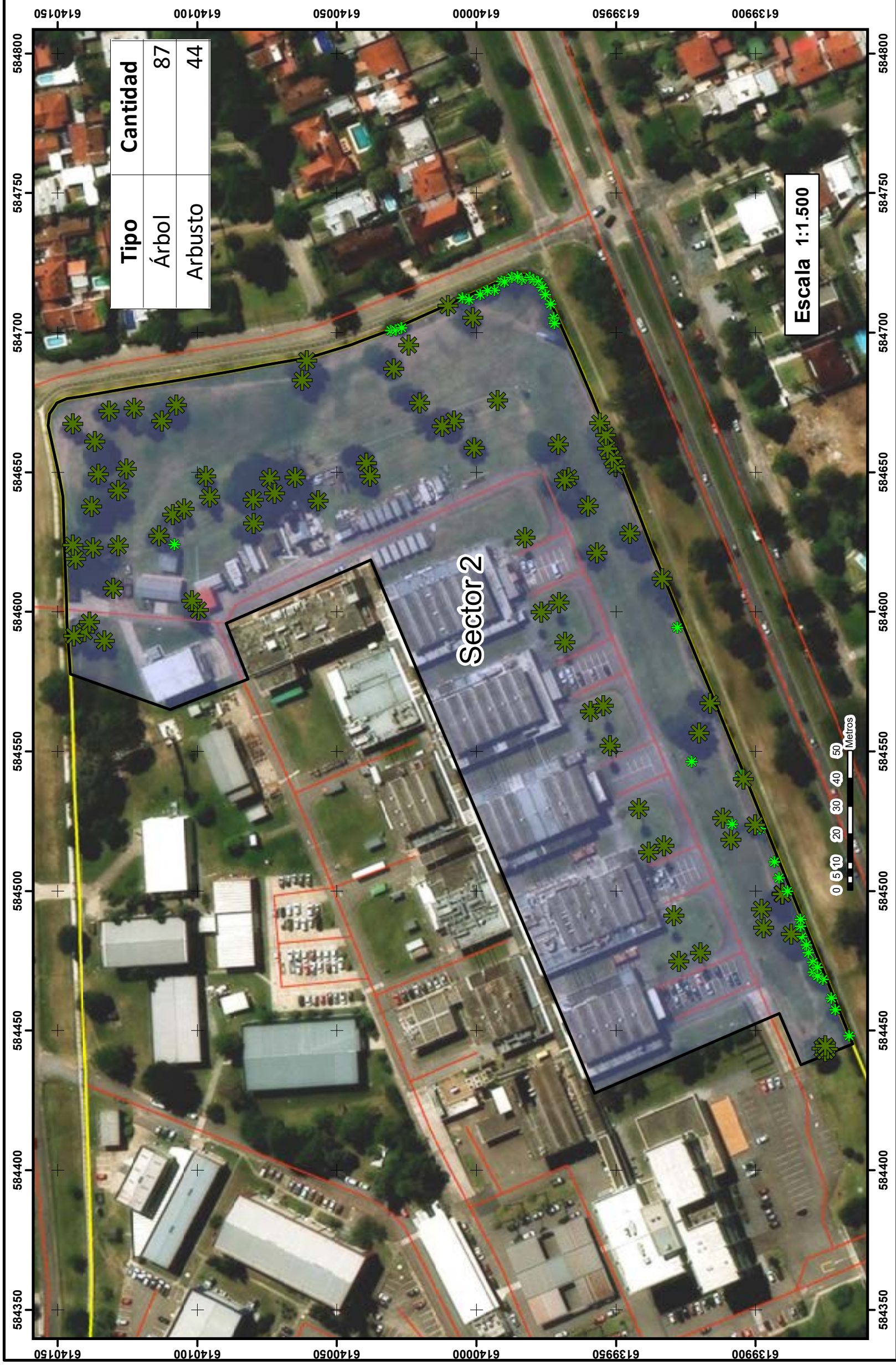
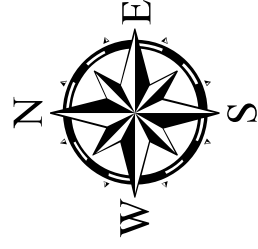


TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



Árboles y Arbustos Sector 2

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

Tipo



Árboles



Arbustos



Área Sector 2



Perimetro LATU



Validad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR

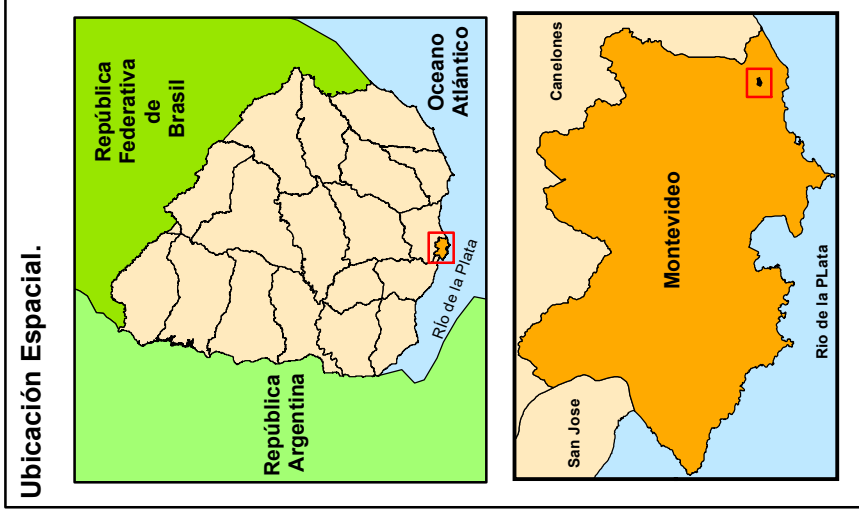
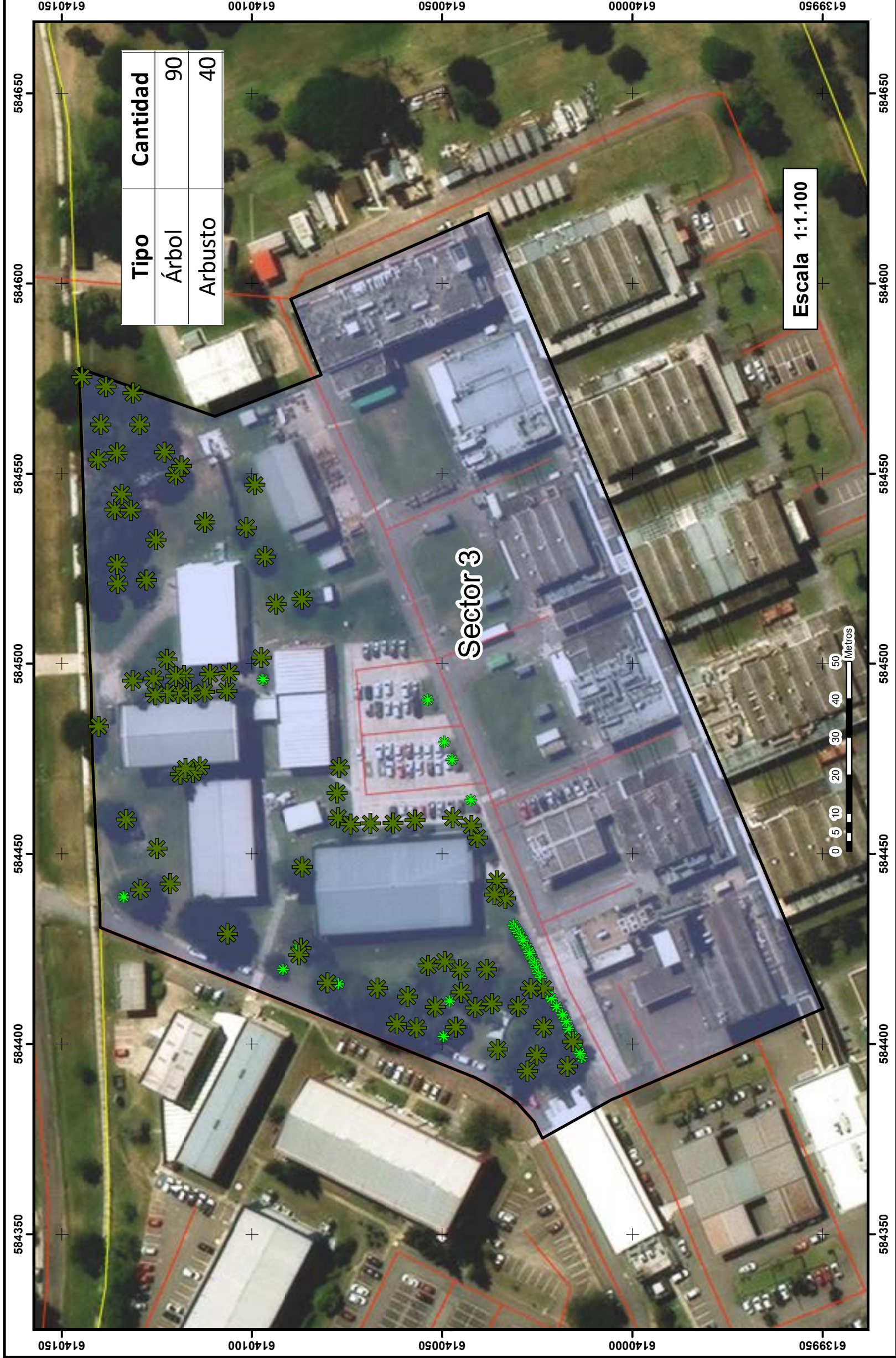
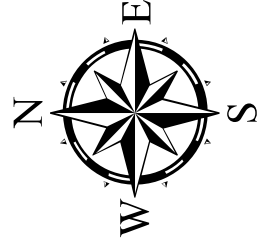


TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



Árboles y Arbustos Sector 3

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Leyenda

Tipo

- Árboles
- Arbustos
- Área Sector 3
- Área Sector 3
- Perimetro LATU
- Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR



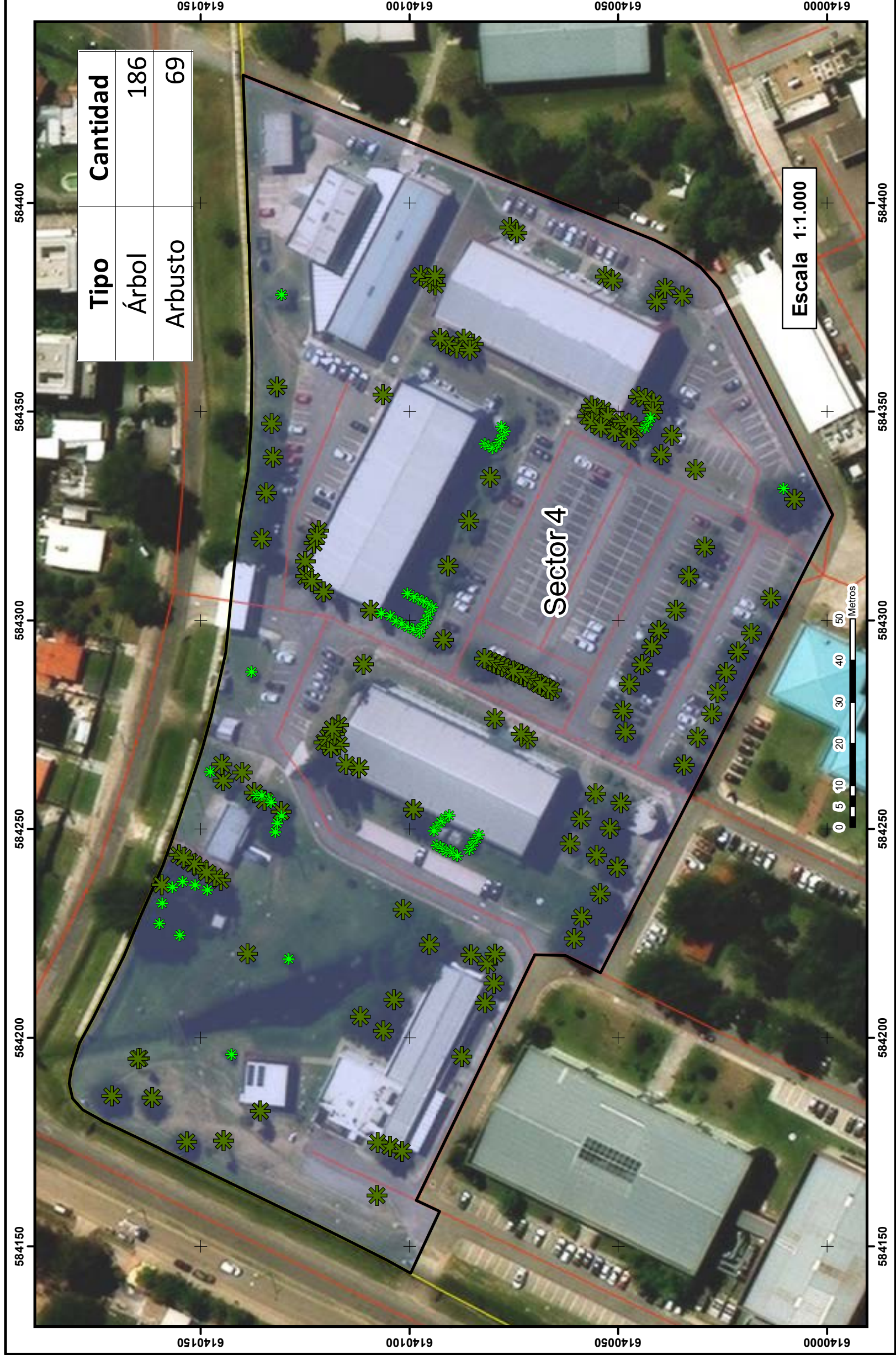
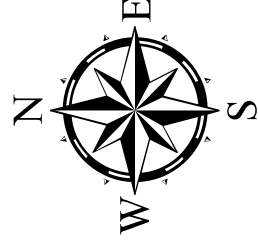
TECNOLOGÍA EN
CARTOGRAFÍA



LATU

Árboles y Arbustos Sector 4

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

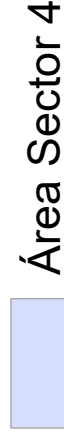
Tipo



Árbol



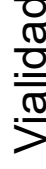
Arbustos



Área Sector 4



Perímetro LATU



Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR



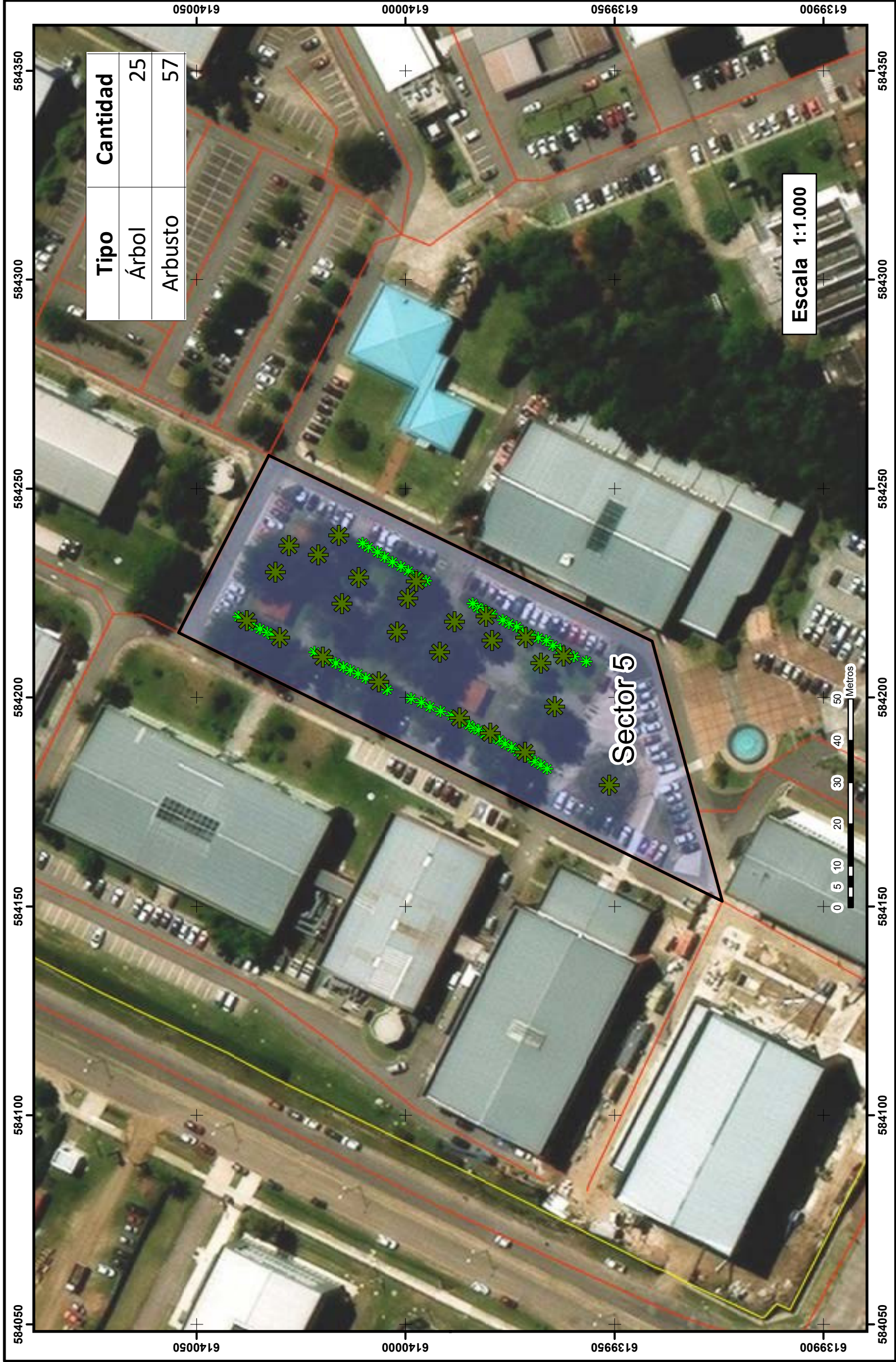
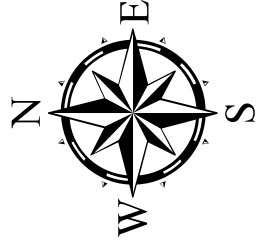
TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



LATU

Árboles y Arbustos Sector 5

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

Tipo



Árboles



Arbustos



Área Sector 5



Perimetro LATU



Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR



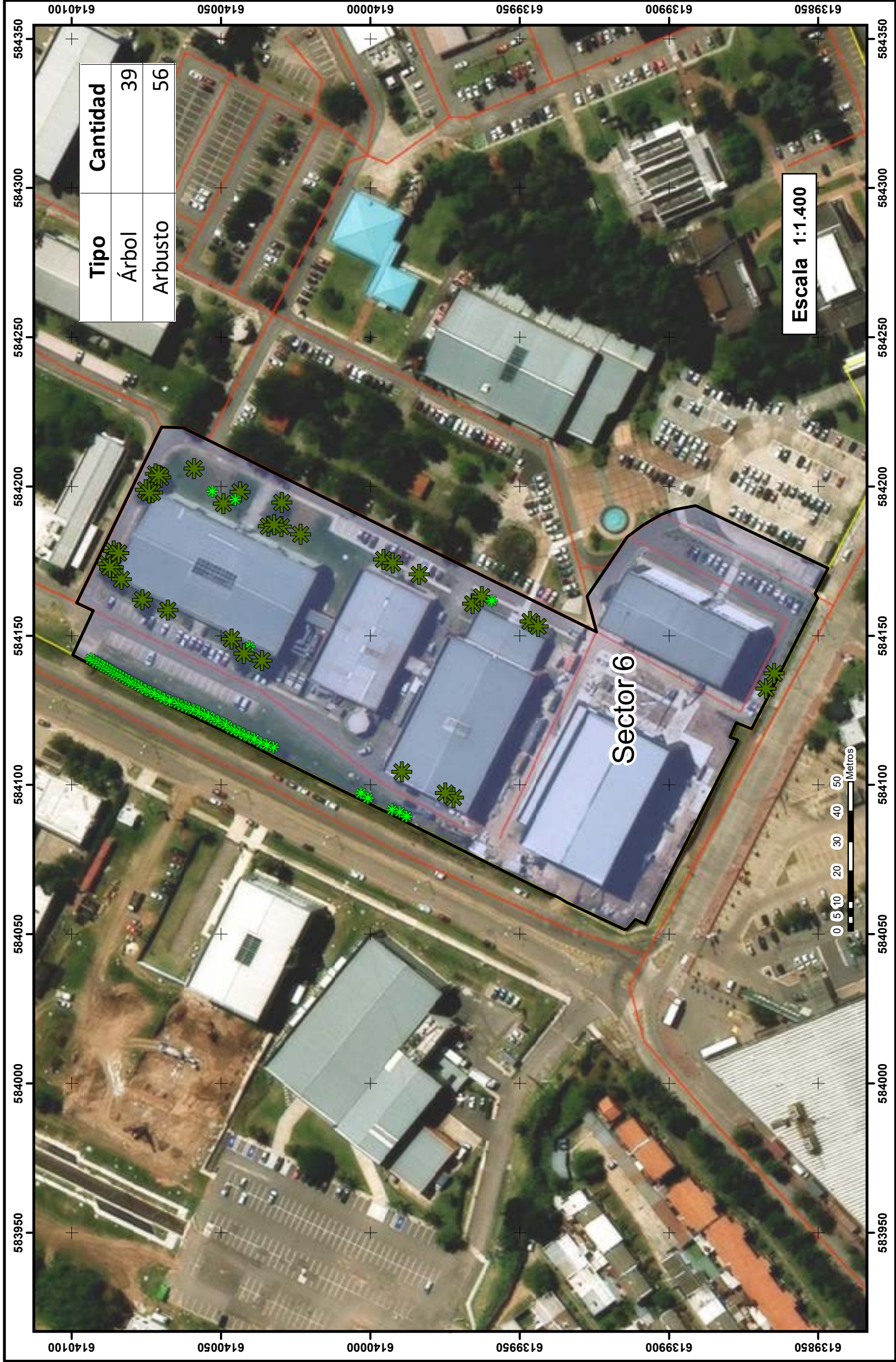
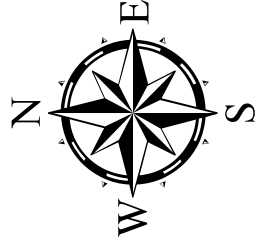
TECNOLOGO EN
CARTOGRAFIA



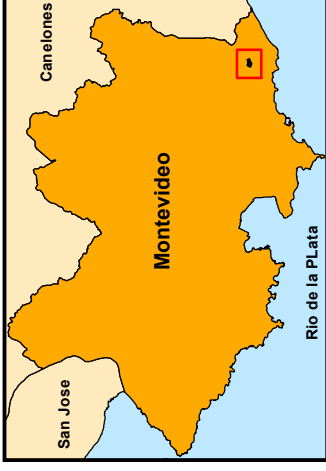
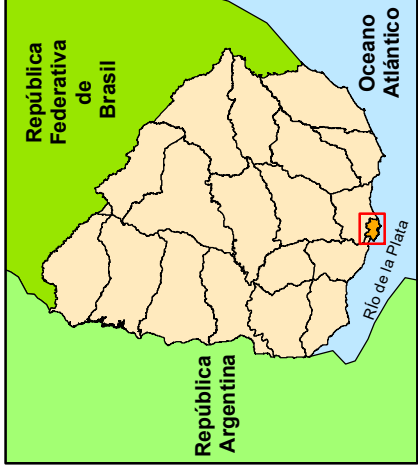
LATU

Árboles y Arbustos Sector 6

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Ubicación Espacial.



Leyenda

Tipo



Árboles



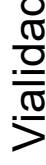
Arbustos



Área Sector 6



Perimetro LATU



Vialidad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR

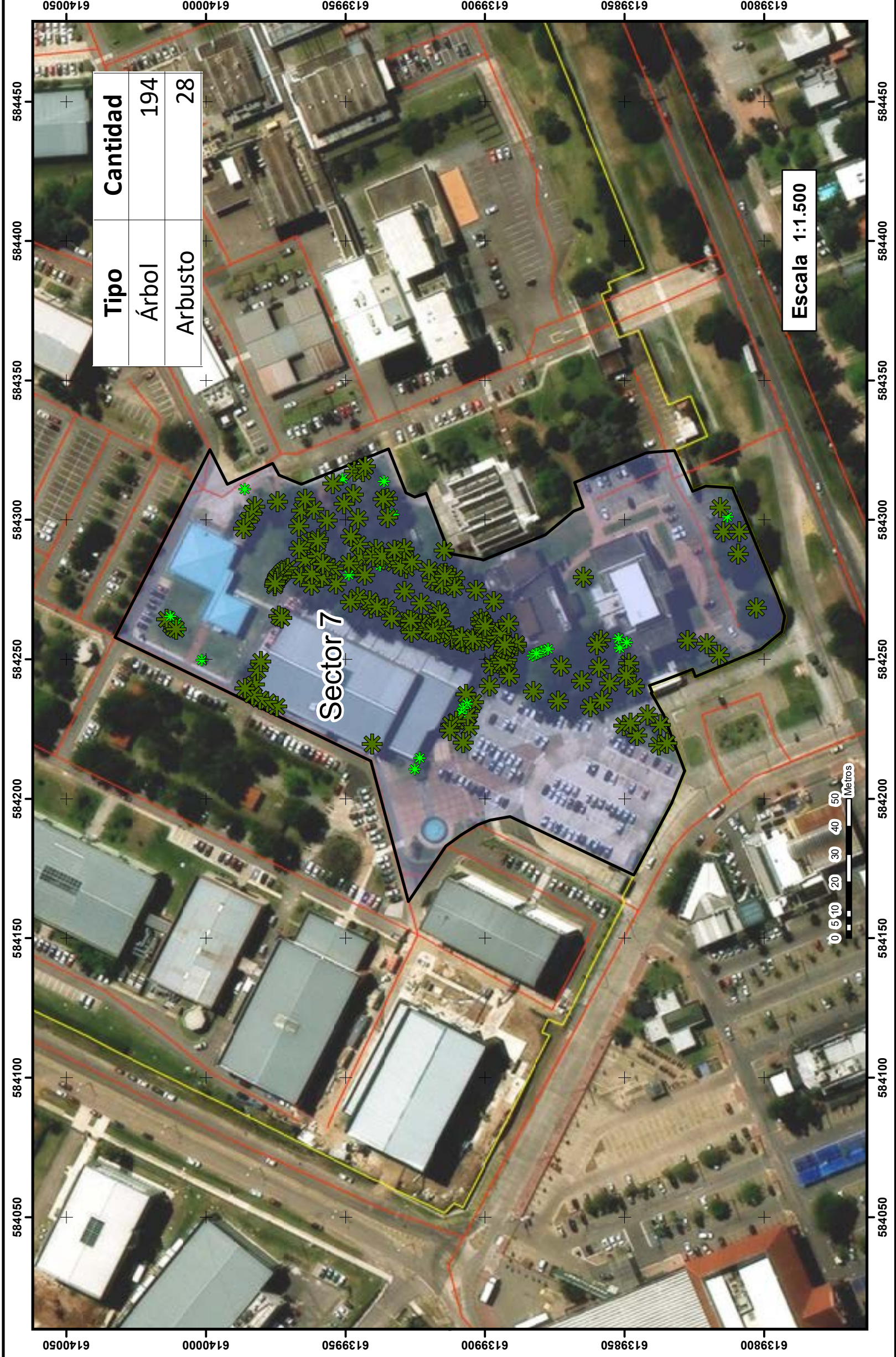
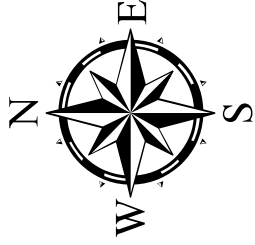


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR



Árboles y Arbustos Sector 7

Ubicación de Predio
Departamento de Montevideo
Municipio E
Sede Principal LATU



Tipo	Cantidad
Árbol	194
Arbusto	28

Escala 1:1.500

Ubicación Espacial.



Leyenda Tipo



Árboles



Arbustos



Área Sector 7



Perimetro LATU



Validad

Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU98, época 1995.4
Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator (UTM), X ; Y
Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide GRS80, Huso 21. EPSG: 1068 (EPSG:32721)

Elaborado por:
Miguel Caldera, Antonio Martyniuk
Facundo Mendez

Fecha de Elaboración:
Diciembre de 2024