



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA DE TRIGO EN EL
VALLE DE MEXICALI, CICLO OTOÑO - INVIERNO 2010**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA:
JESÚS ANTONIO AGUILAR MALDONADO**

**ASESOR:
LIC. JAIME MORALES**



CIUDAD UNIVERSITARIA 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniendo paciencia, dando ánimo, y acompañándome en todos los momentos.

Agradezco al Licenciado Jaime Morales por haber confiado en mi persona, por el apoyo y la dirección de este trabajo. Al Maestro Gilberto Núñez por los consejos y el ánimo que me brindó, a la Maestra María de la Paz Medina por su paciencia ante mis dudas, al Licenciado Mario Casasola por la atenta lectura de este trabajo y, por último pero no menos importante, a la Licenciada Martha Pérez por sus comentarios y sus atinadas correcciones.

Gracias a mi familia, a mi madre, a mi padre, a mis hermanas, a mis sobrinos y a mi cuñado que me acompañaron en esta aventura que significo la Licenciatura y que, de forma incondicional, me entendieron y apoyaron.

Gracias también a mis queridos amigos, que me apoyaron y me permitieron entrar a su vida durante estos trece años de convivir dentro y fuera de la escuela. Alain y Demián gracias.

Gracias a todos.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| • Introducción | 5 |
| • Objetivos | 6 |
| - General | |
| - Particulares | |
| • Antecedentes | 6 |
| • Capítulo I | |
| La agricultura del valle de Mexicali en el contexto nacional | 12 |
| - 1.1 El desarrollo histórico del Valle de Mexicali | 13 |
| - 1.2 La importancia del río Colorado en el desarrollo social y agrícola del Valle de Mexicali | 20 |
| - 1.3 Método de estimación de superficies agrícolas por muestreo de áreas y teledetección espacial | 31 |
| • Capítulo II | |
| Estimación estadística de la superficie de trigo en el Valle de Mexicali | 42 |
| - 2.1 Distribución de la muestra y programación del levantamiento en campo y de las imágenes | 43 |
| - 2.2 Estimación de la superficie de trigo por un muestreo de marco de área | 51 |
| - 2.3 Estimación de la superficie de trigo por una clasificación de imágenes de satélite | 62 |
| • Capítulo III | |
| Evaluación de la estimación de la superficie agrícola de trigo en el Valle de Mexicali, ciclo otoño – invierno 2010 | 72 |
| - 3.1 Integración del muestreo y de la clasificación por una regresión lineal | 73 |
| - 3.2 La superficie de trigo en el Valle de Mexicali | 79 |
| • Conclusiones | 89 |
| • Bibliografía | 92 |

| ÍNDICE DE FIGURAS | PÁGINA |
|---|---------------|
| Figura 1.1: Ubicación del área agrícola de Mexicali | 23 |
| Figura 1.2: Diagrama metodológico sobre la estimación de superficies agrícolas. | 41 |
| Figura 2.1: Distribución aleatoria de los segmentos, en el área agrícola del Valle de Mexicali. | 44 |
| Figura 2.2: Comparación de un segmento sin digitalizar y un segmento digitalizado sobre una imagen Spot 5 a 2.5 metros de resolución. | 45 |
| Figura 2.3: Selección de los “K-J” de Spot para la programación de imágenes en el valle de Mexicali. | 49 |
| Figura 2.4: Formato F1, de identificación de las parcelas en campo. | 52 |
| Figura 2.5: Formato F2, de identificación de los rasgos encontrados en el segmento. | 54 |
| Figura 2.6: Comparación de una imagen sin ortorrectificación y de una imagen ortorrectificada. | 63 |
| Figura 2.7: Imágenes recortadas al límite agrícola del valle de Mexicali. | 66 |
| Figura 2.8: Clasificación del área agrícola del Valle de Mexicali. | 69 |
| Figura 3.1: Comparación de un segmento de campo con un segmento clasificado. | 75 |
| Figura 3.2: Incorporación de las áreas de trigo de cada segmento en el programa SAS | 76 |
| Figura 3.3: Relación de las variables “X” y “Y” en el programa SAS. | 77 |
| Figura 3.4: Valor de la pendiente en el programa SAS. | 78 |
| Figura 3.5: Canales de comercialización del trigo del valle de Mexicali. | 85 |
| Figura 3.6: Cadena agroindustrial del trigo del valle de Mexicali. | 87 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1.1: Cierre de la producción agrícola por cultivo en el estado de Baja California, otoño – invierno 2008. | 30 |
| Cuadro 2.1: Calendario de siembras y cosechas del trigo en el estado de Baja California en el ciclo otoño – invierno, para la programación de imágenes. | 50 |
| Cuadro 2.2: Superficie ocupada por cada tipo de cobertura registrada en el muestreo de campo en el valle de Mexicali. | 56 |
| Cuadro 2.3: Superficie estimada de cada cobertura hallada en el valle de Mexicali. | 58 |
| Cuadro 2.4: Error estándar de la estimación de superficie en el valle de Mexicali. | 60 |
| Cuadro 2.5: Desviación estándar de la suma de los segmentos de campo. | 61 |
| Cuadro 2.6: Probabilidad de cada clase de ser clasificada. | 65 |
| Cuadro 2.7: Superficie ocupada por cada clase | 70 |
| Cuadro 2.8: Matriz de confusión de la clasificación. | 71 |
| Cuadro 3.1: Lista de empresas almacenadoras de granos de trigo en el valle de Mexicali. | 81 |
| Cuadro 3.2: Superficie y precios por hectárea de trigo en el valle de Mexicali en un periodo de 23 años. | 83 |
| Cuadro 3.3: Valor de la producción según la estimación de superficie de trigo obtenida por el muestreo de área y la clasificación de imágenes | 84 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 2.1: Calendario de siembras y cosechas del trigo en el estado de Baja California | 46 |
| Gráfico 3.1: Superficie de trigo sembrada en el valle de Mexicali del año 2002 al año 2009. | 80 |
| Gráfico 3.2: Distribución de la utilización de la producción nacional de trigo. | 88 |

INTRODUCCIÓN

La presente tesis es una investigación que contribuirá a obtener resultados sobre la cantidad de trigo que es sembrado en el Valle de Mexicali en el ciclo otoño – invierno 2010, también se podrá identificar el área donde esté es sembrado, esto debido a que la metodología que se implementara permite la obtención de ambas incógnitas, por un lado el muestreo estadístico nos permitirá obtener una estimación de la superficie sembrada, y por otro, el análisis de percepción remota nos corroborará esa estimación y al mismo tiempo nos mostrará la distribución espacial de las parcelas de trigo.

Este estudio será un soporte para las investigaciones que se realicen, en el colegio de Geografía será de utilidad como fuente de consulta para los alumnos, en materias donde las cifras agrícolas sean requeridas, para la gente del Valle de Mexicali será de gran importancia porque podrán atender con mayor certeza los problemas relacionados con la cantidad de trigo sembrado y su distribución por todo el valle.

Los resultados facilitaran a las instituciones públicas relacionadas con la agricultura y la estadística a mejorar sus metodologías para la estimación de superficies agrícolas, también proporcionara cifras sobre el comportamiento del trigo en el ciclo otoño – invierno en el Valle de Mexicali, que podrán ser aprovechadas por la gente dedicada al sector agrícola y agroindustrial.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento de la investigación, la justificación, los alcances y limitaciones de la misma, además del marco histórico y teórico. También se abordan los aspectos metodológicos relacionados con el muestreo de áreas y de teledetección espacial.

En el capítulo II se abordan los aspectos ligados con las metodologías de estimación de la superficie agrícola, donde se tratan los temas del tamaño y distribución de la muestra, sus características y puntos en común. Se describe también lo relacionado a la técnica de la percepción remota, sus alcances y sus aportaciones en lo que respecta a clasificación de áreas agrícolas. Se llega a resultados que son arrojados por medio del muestreo de marco área y por medio del análisis e interpretación de imágenes de satélite.

En el capítulo III se tratan los resultados obtenidos, se fundamentan por medio de una regresión lineal estadística donde se obtiene una fuente de consulta confiable. Se ofrece la discusión e interpretación de estas deducciones, donde se analizan los eslabonamientos hacia adelante que tiene el trigo cosechado en el Valle de Mexicali.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta tesis.

OBJETIVOS

PRINCIPAL:

Revelar el área que el trigo ocupó en el Valle de Mexicali durante la siembra del ciclo agrícola Otoño-Invierno 2010.

PARTICULARES:

- Analizar la calidad de las estimaciones estadísticas para el sector agrícola por medio de muestreos estadísticos y teledetección espacial.
- Evaluar la proporción y distribución espacial de los cultivos que ocupan el Valle de Mexicali.
- Sintetizar el muestreo estadístico con el de teledetección para obtener una estimación general de la superficie ocupada por el trigo.

ANTECEDENTES

La agricultura ha sido un pilar fundamental en la historia de la humanidad, en principio el ser humano hacía de la agricultura un elemento más de la supervivencia básica, se sembraba y cosechaba con el objetivo del autoconsumo. El modo de vida de los recolectores de plantas y cazadores de grandes animales fue el que predominó en todo el mundo durante milenios de años. Todos los antecesores de los humanos modernos, y éstos en sus orígenes, dependieron de la cacería y de la recolección de frutos silvestres con el fin de alimentarse. Sin embargo, hace unos 10 000 años, en el periodo Neolítico, la Tierra sufrió una serie de modificaciones climáticas que tuvieron como consecuencia el aumento de la temperatura en todo el planeta. Al mismo tiempo y por causas que aún no son muy claras, desaparecieron los grandes animales de cuya cacería dependían los humanos para su alimentación.

Como consecuencia, los humanos tuvieron que adaptarse a las nuevas circunstancias, encontrar nuevos recursos alimenticios pues ya no disponían de la cacería de grandes animales como fuente de alimentación. En algunas partes del mundo, debido a la abundancia de animales de menor tamaño, los humanos continuaron dependiendo de la cacería como fuente de obtención de comida. En otras partes, cerca de los lagos, ríos o en las costas, los individuos aprendieron a pescar y obtener sus alimentos por ese medio. Por último, en algunas regiones, los humanos iniciaron el cultivo y domesticación de las plantas, iniciando de esta forma el desarrollo de la agricultura.

El origen de la agricultura se inició aproximadamente alrededor del 8 000 a. C, en el denominado Creciente fértil (zona de Oriente Próximo desde Mesopotamia al Antiguo Egipto), pero bastarían sólo tres milenios para que se convirtiera en el principal medio de obtener alimentos en diversas sociedades en todo el mundo. Paralelamente al desarrollo de la agricultura se inició la domesticación de animales. De esta forma, los humanos dejaron de vivir como nómadas para asentarse en un sólo lugar, intensificando el proceso de sedentarización y así fue como surgieron las primeras aldeas agrícolas.

Se considera al desarrollo de la agricultura como un cambio crucial en la evolución cultural del hombre. Durante milenios y aún millones de años, los humanos habían dependido de la cacería y la recolección para su alimentación. Con la agricultura, los humanos comenzaron a dominar el mundo vegetal y animal con el fin de mejorar su alimentación.

El origen de la agricultura y de la domesticación de los animales constituyó un proceso que se inició simultáneamente en diversas partes del mundo. Dependiendo de las características de cada región, así fue el tipo de agricultura que se desarrolló, con diferentes plantas cultivadas y animales domesticados.

Las consecuencias del desarrollo de la agricultura fueron de gran trascendencia pues permitirían que más individuos se pudiesen alimentar, por lo que después del surgimiento de la agricultura aumentó la población. También, gracias a la agricultura, fue posible colonizar territorios en donde los humanos no podían vivir anteriormente (Arce, 2006).

En los inicios de las sociedades agrícolas, entre el 7,500 y el 6,500 a.C., éstas constituían pequeñas aldeas rurales. No obstante, muy rápidamente, conforme la agricultura fue mejorando mediante el empleo de sistemas de riego, algunas sociedades aumentaron

hasta convertirse en grandes ciudades, con un gran desarrollo cultural que se manifestaba en la realización de obras de ingeniería como palacios, pirámides o grandes sistemas de canales para llevar agua, y con ellos regar los campos para mantener una agricultura de alto rendimiento, necesaria para mantener a grandes poblaciones.

El desarrollo de este nuevo tipo de sociedades dependía de un sistema agrícola eficiente, de alto rendimiento, el cual necesitaba de la construcción de obras de regadío, pozos, embalses, drenajes y de un constante esfuerzo por mantener el buen funcionamiento de estos sistemas que llevaban agua a los campos de cultivo. También se utilizaron fertilizantes y la construcción de terrazas en las laderas de las montañas con el fin de evitar la erosión de los suelos. En muchos casos también la preparación de terrenos para los cultivos requirió del drenaje de terrenos pantanosos.

La evolución de estas nuevas sociedades que se sustentaban en la agricultura intensiva, ocurrió de manera independiente en diversas regiones del mundo, como en India, China, Centroamérica y Perú además de la difusión hacia Europa desde Asia por el Mediterráneo, esta se sustentó en la domesticación de plantas y animales propios de cada región. Con el transcurso del tiempo llegarían a conformar civilizaciones con tradiciones propias y claramente identificables (FAO, 2005).

México se encuentra situado en el continente americano y aunque tengamos una influencia cultural heredada de las poblaciones indígenas que habitan nuestro territorio (especialmente en la comida: tortillas, frijoles, tomates, aguacates, etc.), en realidad los aspectos determinantes en nuestra cultura, tales como el idioma que hablamos, nuestras creencias religiosas, nuestro sistema de organización política, nuestras concepciones estéticas, así como el pensamiento filosófico tienen sus raíces culturales en las primeras civilizaciones que surgieron en Europa y Asia. Esta situación es consecuencia de la conquista y colonización de nuestro territorio por los españoles a partir del siglo dieciséis, de quienes descendemos gran parte de los habitantes actuales de México. Como España estuvo influida por las civilizaciones antiguas e incluso llegó a ser una provincia del Imperio Romano y después dominada durante aproximadamente ocho siglos por los árabes, los mexicanos por intermedio de los españoles recibimos la influencia de estas primeras civilizaciones.

Al llegar, el conquistador encontró un sistema agrícola ajeno a su realidad ecológica que no comprendió y destruyó en gran parte. Pero, en cambio, aportó la tradición ibérica que

se aplicó a grandes zonas de México. En este período, el territorio se incrementó y se ensanchó hacia el norte (Arce, 2006).

Así, la agricultura a partir de la mitad del siglo XVI se dividió en dos grandes tipos: la agricultura prehispánica maicera e intensiva que no desapareció, sino simplemente se vio alterada, modificada y mutilada, y la agricultura española extensiva con tracción animal.

Debido a la importancia que adquirió la agricultura extensiva en el mundo, esta agricultura dedicada a la producción de grandes volúmenes para la venta, se hizo necesario contar con métodos confiables para su medición, así surge la aplicación estadística en la agricultura.

Los trabajos que estudian la relación entre Agricultura y Estadística, datan del inicio del siglo XVIII. El artículo de Crete de Palluel de 1788, es la primera referencia en la que se cita un experimento en agricultura, diseñado en parte según los principios estadísticos que serían formalizados mucho después. Desde entonces, en la historia de la mencionada relación entre Estadística y Agricultura, se pueden distinguir, a grandes rasgos, tres periodos claramente diferenciados: a) desde finales del siglo XVIII hasta el comienzo de la primera guerra mundial, b) el periodo entre las dos guerras mundiales y c) la época actual, posterior a la segunda gran guerra.

La segunda guerra mundial marcó un verdadero cambio de orientación en la aplicación y desarrollo de la estadística, por esta razón nos enfocaremos solo en esta etapa. Como es sabido, muchos de los no muy numerosos estadísticos existentes en aquellos momentos pasan a trabajar en departamentos que desarrollan tareas que hoy formarían parte de lo que conocemos como Investigación Operativa. En el Reino Unido fue paradigmática la actividad desarrollada por F. Yates en el estudio de la distribución de los escasos recursos de fertilización mineral que poseía la Gran Bretaña. Su informe, junto con otros muchos factores naturalmente, ayuda a superar durante la guerra, el problema de la alimentación en su país.

El periodo de la postguerra supone una época de consolidación y unificación de ideas anteriores. Son de destacar en este sentido los libros de Yates (1949) sobre muestreo. Sorprendentemente este tema, que nace con la aplicación de la estadística a la agricultura, no solo no se ha visto agotado, sino que ha sido intensamente estudiado en las últimas décadas. Además, desde la década de los noventa, la irrupción de la

informática ha supuesto un cambio cualitativo en la concepción del diseño de experimentos. De hecho, los tipos de diseños desarrollados con una perspectiva de operatividad práctica incorporan la característica de su adecuación a la mecanización informática.

La investigación agraria se apoya hoy en un gran número de herramientas estadísticas, o con un fuerte componente estadístico. Muchas de estas técnicas fueron originadas o recibieron un fuerte impulso ante la necesidad de resolver problemas concretos

La aplicación de las técnicas de análisis de imágenes que nos proponemos comentar, es la teledetección. Los satélites meteorológicos y los de observación terrestre proporcionan información complementaria sobre las condiciones del crecimiento de los cultivos y de la evolución de sus parámetros biológicos, lo cual abre nuevas perspectivas en el control de la producción agrícola.

La información sobre la producción agrícola es decisiva, al objeto de efectuar una planificación gubernamental. En E.U. y los países más desarrollados de Europa se obtienen, con antelación a la finalización de los ciclos agrícolas, estimaciones fiables de las superficies y producciones para los cultivos más importantes, mediante muestreo y a través de canales administrativos. Los países no desarrollados no disponen de otras estimaciones que las que puedan ofrecer los censos, llevados a cabo cada década por término medio. Esta limitación es debida, no solo a problemas de financiación, sino también a la falta de capacidad técnica para organizar sistemas estadísticamente fiables de recolección de datos a nivel nacional. Algunos de los avances tecnológicos hacen posible realizar estudios globales, sin la dependencia absoluta del método tradicional de enviar encuestadores a zonas preseleccionadas, donde realizar observaciones. La técnica más elaborada, consiste en obtener imágenes de satélite de la superficie terrestre periódicamente durante la época de cultivo y utilizar la información contenida en las imágenes para estimar la superficie utilizada. Esta información, junto con los datos procedentes del resto de las fuentes de información, permite predecir los rendimientos. Las técnicas de reconocimiento de patrones permiten detectar las áreas de cultivo y mediante modelos que se apoyan en datos sobre el tiempo atmosférico y otros factores, permiten evaluar los rendimientos.

La aplicabilidad de la teledetección en agricultura, se estudió a gran escala y en primer lugar en EE.UU. Tres instituciones de este país, NASA, NOAA y USDA, financiaron

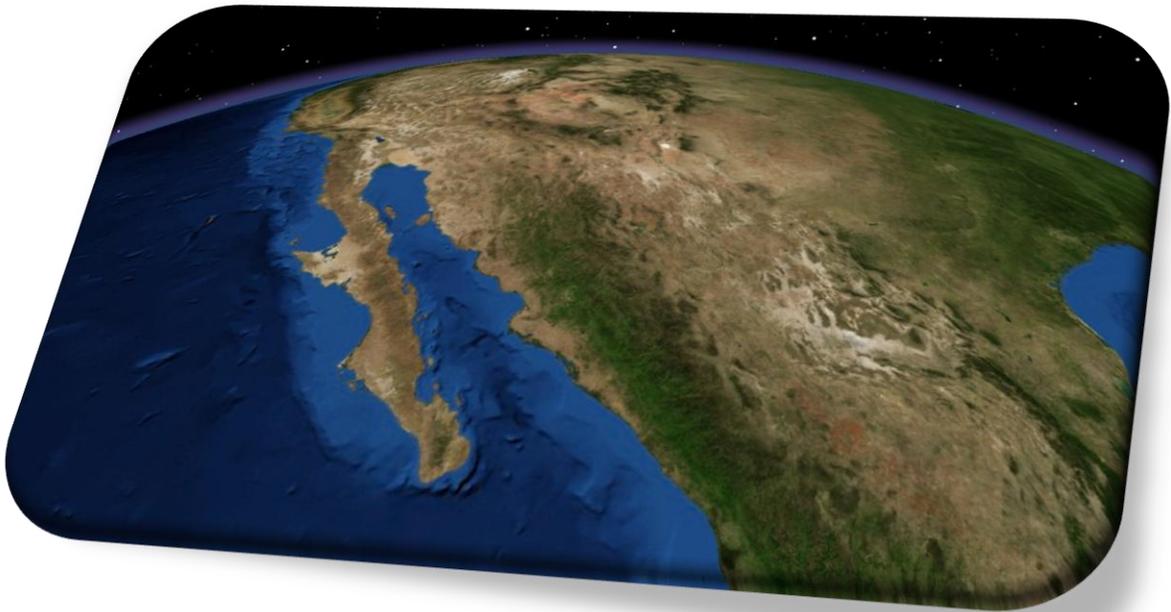
conjuntamente un proyecto denominado: Inventario Experimental de Cultivos Extensivos (Large Crop Inventory Experiment, LACIE), y su correspondiente programa de seguimiento: Agricultural Resource Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing, (AgRISTARS). Los resultados de este estudio fueron publicados en LACIE en 1984.

La Comunidad Europea ha aprobado recientemente el denominado Proyecto Piloto de Teledetección Aplicada a la estadística Agraria (MARS, Monitoring Agriculture with Remote Sensing), cuyo objetivo es estudiar las posibilidades de aplicación de la teledetección espacial en estadística agrícola, con la finalidad de incorporar esta nueva fuente de información, en los actuales sistemas de información agrícola. A finales de 1988, se creó el Instituto de aplicaciones de la Teledetección, con el ánimo de impulsar esta técnica en Europa, y, en particular, proporcionar una marca de desarrollo al proyecto MARS.

Es claro que las aportaciones de la estadística en el desarrollo científico y tecnológico se producirán en un contexto multidisciplinario. Pero no es menos cierto, que la colaboración será tanto más fructífera, cuanto mejor conozcan los miembros de los equipos de trabajo, las áreas de conocimiento afines a la de su especialidad. Tradicionalmente, los profesionales de cada área, en la medida que han comprendido la utilidad potencial de la estadística en sus áreas de trabajo, han hecho un esfuerzo por conocer las técnicas de análisis estadístico. Igual de importante es que los estadísticos hagan también un esfuerzo por conocer el objeto sobre el que se aplican las técnicas estadísticas. Esta actitud hará avanzar la estadística agrícola, evitando el estancamiento derivado de la aplicación rutinaria de los métodos convencionales (Alonso, 1990).

CAPÍTULO I

LA AGRICULTURA DEL VALLE DE MEXICALI EN EL CONTEXTO NACIONAL



1.1 EL DESARROLLO HISTÓRICO DEL VALLE DE MEXICALI

De los estudios arqueológicos y etnohistóricos que existen, cabe desprender la imagen de los precarios niveles culturales mantenidos por los grupos indígenas que habitaron la península de Baja California. Investigadores han podido señalar diferencias con base en hallazgos arqueológicos, y hablar de contextos distintos como las denominadas “Cultura de Las Palmas” y “Cultura Comondú”. También se debe considerar la correlación de dichos ámbitos culturales con las diferentes familias lingüísticas. Así el Cochimí y Yumano peninsular aparece situado en el área de la “Cultura Comondú”; el Guaycura y el Pericú en el ámbito de la “Cultura de Las Palmas”, en tanto que la porción norte de la península, sobre todo las inmediaciones del delta del Colorado, son ya zonas de poblamiento de otros grupos Yumanos que habían recibido notorias influencias del exterior.

Sin embargo por encima de las diferencias lingüísticas entre Pericúes, Guaycuras y Cochimíes, salta a la vista que los niveles culturales de todos ellos se asemejaban considerablemente. Los hallazgos arqueológicos y las descripciones parecen coincidir en lo esencial, revelándonos que se trata de grupos cuya existencia se desarrollo a través de milenios sin superar los logros de lo que en el viejo mundo se ha descrito como características del paleolítico.

Enormes posibilidades de investigación ofrecen las culturas que, en su aislamiento de milenios, nos muestran cómo, aun con precarios recursos y en un medio adverso, el ser humano es capaz de subsistir y dejar testimonio, así como de sus extraordinarias pinturas rupestres.

Pensemos ahora en lo que se debió significar para quienes vivían en tales niveles de escaso desarrollo, entrar en contacto con los misioneros jesuitas, hombres metódicos y disciplinados en extremo, y muchos de ellos formados en las mejores universidades del Viejo y del Nuevo Mundo.

Durante el siglo XVI, los californianos habían tenido contactos, más bien transitorios, con exploradores, capitanes, pescadores de perlas, piratas y diversos aventureros. En este sentido conocían la existencia de gente muy diferente, en posesión de armas e implementos bastante más efectivos que los suyos propios. Sin embargo, contactos como el iniciado por el padre Eusebio Francisco Kino en 1684 y luego el definitivo en 1697 por

Juan María Salvatierra, pronto hubieron de mostrárseles como un incontenible propósito de cambio, en todos los órdenes, de sus antiguas formas de vida.

Los californios habían subsistido, adaptados a su medio, sin que ocurrieran grandes transformaciones en su modo de vivir. De pronto, con la mejor de las intenciones, se quiere implantar entre ellos cambios radicales: se busca concentrarlos en las misiones; se les enseñan doctrinas que les resultan extrañas; se le obliga a vivir “a toque de campana” lo cual les hace regresar a veces a sus antiguos parajes para que se alimenten de nuevo por cuenta propia y puedan venir otros grupos a ser aleccionados “a toque de campana” en los centros misionales.

Los procesos de aculturación, es decir de contacto e influencia entre nativos californios y jesuitas, requieren sin duda más amplios análisis y valoración objetiva por sí mismos. Pero, también aquí, una comprensión más honda de lo que realmente fueron implica un enfoque mucho más amplio.

La expulsión, en 1767, de los jesuitas que habían creado en la península los primeros centros de población estable, marcó una nueva decadencia que habría de acentuarse aún más. Otros misioneros llegaron a hacerse cargo de la obra jesuita. Pero los franciscanos, que fueron los primeros, muy pronto salieron de la península para trabajar en las regiones de la Alta California.

El hecho es que, al tiempo de la independencia de México, Baja California se encontraba en plena decadencia y abandono, Según los cálculos demográficos de Humboldt, los habitantes de la península de Baja California apenas llegaban, a principios del siglo XIX, a la reducida cifra de unos ocho mil individuos. La península formó entonces parte del territorio de las Californias con un gobernador que residía en la Alta y una especie de delegado en Loreto.

La invasión norteamericana trajo consigo en 1847 la ocupación de los principales puertos bajacalifornianos. No obstante la resistencia que opusieron sus escasos habitantes, cayeron en poder del enemigo lugares como Ensenada, La Paz, San José del Cabo y otros. Nuevo momento de peligro fue la incursión filibustera de William Walker, en 1853. El aventurero, que más tarde sería azote de Centroamérica, pretendió entonces crear la “República de Baja California y Sonora”. Conviene también mencionar que, durante los gobiernos de Benito Juárez y Porfirio Díaz, enormes porciones de la Baja California fueron

dadas en concesión a varias compañías, casi todas extranjeras, en apariencia interesadas en la colonización (León – Portilla, 1995).

El Valle de Mexicali, como región agrícola, empezó a formarse en los primeros años del siglo XX, en gran medida como resultado de la expansión de la agricultura en el distrito vecino del Imperial Valley, que requirió para su funcionamiento de la construcción de un canal de derivación de agua por territorio mexicano, el canal Álamo. A partir de 1912, por lo menos estadísticamente, se inicia en Mexicali un acelerado proceso de apertura de tierras de cultivo que en pocos años hizo de este valle la segunda gran región algodonera del norte de México, después de La Laguna. A diferencia de La Laguna pero al igual que Los Mochis y los valles del sur sonoreño, la década de la revolución mexicana significó para Mexicali un período de gran prosperidad agrícola, en virtud del impacto favorable de la primera guerra mundial en los precios del algodón y de otros productos agrícolas. En Mexicali, la expansión de la frontera agrícola resulta fiel indicador de ese auge: de 8,741 hectáreas irrigadas en 1912 a 76,890 en 1920.

Al igual que en Torreón y en cierto modo a Los Mochis y a Navojoa, y lo que luego sería Ciudad Obregón, el auge agrícola traería consigo la formación de un núcleo urbano que muy pronto se convertiría en la cabecera de una nueva configuración regional. Ya desde 1915 el gobernador Esteban Cantú había establecido en Mexicali la capital del Distrito Norte de Baja California. En 1921, Mexicali era una población de 6,782 habitantes, casi tantos como los pobladores del Distrito sur de la península y tres veces más de los de la antigua capital, Ensenada. Destacaban en la nueva población los trabajadores chinos que habían arribado como mano de obra para la pizca del algodón y que tantas controversias causarían en la región y a nivel diplomático.

Justamente cuando se dejaban sentir los efectos de la depresión de la posguerra, entre ellos la reducción a la mitad del precio del algodón, la política mexicana vivía la aguda disputa por la sucesión presidencial, que concluirá con la caída de Carranza y el ascenso del primer presidente de la así llamada “dinastía sonoreña”, Adolfo de la Huerta. A partir de entonces los sonoreños mantendrían un sólido control sobre la región, especialmente por medio del general sonoreño Abelardo L. Rodríguez, cuyo periodo al frente del gobierno local se extendió desde octubre hasta diciembre de 1929.

La gestión del general Rodríguez constituye un excelente ejemplo del interés de los gobernadores sonoreños por proteger la agricultura de riego, así estuviera en manos

extranjeras en una zona fronteriza. Por eso, un historiador señala que el relevo de Ortiz Rubio y el arribo de Rodríguez a la presidencia de la República fue como una moratoria a la Colorado River Land, empresa que poseía poco más de 284 mil hectáreas de tierra en el Valle. Estas incluían la mayor parte de las tierras abiertas al riego por los arrendatarios de la empresa. Cuando gobernador, Rodríguez no había dudado en mostrar el carácter de sus convicciones y así lo dejó ver en su Memoria Administrativa, que resulta una verdadera joya para comprender a los gobernantes sonorenses de la revolución.

No solo se felicitaba por la evolución urbanística de Mexicali, cuyos “bungallows” la hacían asemejarse a las poblaciones californianas. También definía con claridad el carácter de su política agraria, agrícola, de colonización y de cómo creía que debía enfrentarse el ineludible problema de soberanía nacional en esta región fronteriza.

Así la llamada mexicanización del Distrito se impulsó, por medio de compras efectuadas a los latifundistas extranjeros de acuerdo con las posibilidades del tesoro local. Si la entrega de tierras se hacía depender de la no afectación a los terratenientes o bien de las posibilidades del tesoro público, no era remoto que el reparto no avanzara demasiado. Y así fue. En Mexicali la primera hectárea ejidal no se repartió sino hasta 1937.

Como ya se dijo, el general Rodríguez dejó el cargo de gobernador a fines de 1929 y en su lugar fue nombrado otro sonorenses, el general José María Tapia, quien había llegado al Distrito como cercano colaborador del general Rodríguez.

Tal vez por su estrecha vinculación con Estados Unidos, la agricultura del Valle de Mexicali había empezado a mostrar signos de debilidad desde 1925. Según la estadística del ingeniero Bistráin, en ese año se regaron casi 88 mil hectáreas, la mayor superficie sembrada en la corta historia del Valle. En 1929 se regarían solamente 59 mil hectáreas. Pero esa declinación resulta de escasa consideración frente a la caída dramática ocurrida en los siguientes años y que llegaría hasta las 26,518 hectáreas en 1932. En ninguna otra región de agricultura de riego del norte del país se registra una reducción de semejantes proporciones. En términos precisos, entre 1929 y 1931 la libra del algodón pasó de 16.78 a 5.66 centavos de dólar en el mercado estadounidense. Al parecer, la disminución de la superficie tuvo que ver con la reacción de las compañías involucradas en la siembra del algodón, que redujeron sus actividades agrícolas y financieras. Ello produjo un desempleo creciente entre los cuatro mil trabajadores del Valle, además de una baja considerable en el nivel salarial. Por si fuera poco, la crisis alteró también los circuitos de la mano de obra

que acostumbraba a combinar el trabajo en Mexicali con la recolección de frutas en el sur de California. Como es bien sabido, los peones mexicanos no sólo no pudieron recurrir al mercado laboral estadounidense, sino que miles de ellos empezaron a ser expulsados hacia los estados fronterizos mexicanos. Por su parte, algunos peones chinos empezaron a cruzar la frontera con la esperanza de ser atrapados por las autoridades norteamericanas y lograr la deportación a su país.

En ese contexto, el gobierno del distrito se veía obligado enfrentar el agudo problema del desempleo, que amenazaba con convertirse en un delicado problema social y político. Ensayaron diversas medidas tales como el gasto en obras públicas (viviendas, carreteras, escuelas), el financiamiento agrícola para desestimular la siembra del algodón, la represión, los subsidios y el traslado masivo de repatriados y desempleados hacia el interior del país. Pero todo ello se topó con las grandes carencias presupuestales y con una inestabilidad política que hizo que el Distrito Norte fuera gobernado por cinco gobernadores distintos entre 1930 y 1932.

La inestabilidad política parecía originarse en la disputa por el poder a nivel nacional entre los allegados a Calles y los partidarios del presidente Ortiz Rubio. Un diplomático estadounidense no dudaba en afirmar que “La situación aparecía fundamentalmente como una lucha entre políticos por el control de la bonanza provocada por el turismo americano en la región”

Los diplomáticos estadounidenses no dudaban en afirmar que Tapia era un político identificado plenamente con la “organización Rodríguez”. En esta medida, suponían con razón que continuaría la línea de su antecesor con respecto a los intereses norteamericano. Lo cierto es que su designación causó reacciones favorables. Sin embargo, a escasos seis meses de su nombramiento, Tapia fue removido del cargo y sustituido por el general Arturo Bernal, originario como el presidente Ortiz Rubio de Michoacán.

Bernal, no tardó en echarse el mundo encima al remover a gran número de funcionarios y sustituirlos por personas originarias del centro del país. A fines de diciembre de 1930, el tercer gobernador tomaba posesión. Se trataba del abogado Carlos Trejo Lerdo de Tejada.

A Trejo, que gobernaría hasta octubre de 1931, le correspondería enfrentarse a la fase más crítica de la crisis económica. En la ciudad de México, El Machete informaba que el 21 de febrero de 1931 los desocupados, ante su precaria situación se habían amotinado y asaltado tiendas de comestibles. El gobernador recurrió a la fuerza pública y pese a los “choques sangrientos” no logró disolver a los manifestantes. Como resultado, el gobierno de Trejo instaló comedores y repartió despensas, con las cuales se alimentaban hasta 3 mil personas diariamente.

En noviembre de 1931 se informaba que el general Agustín Olachea sería el nuevo gobernador, Olachea duraría en el cargo hasta mediados de agosto de 1932. En este mes fue sustituido por Arturo Elías. Sin embargo, apenas un mes después, cuando Abelardo Rodríguez era ya presidente, Olachea reasumió una vez más el cargo, del cual no saldría sino hasta 1935.

Los años de 1933 y 1934 resultaron mucho menos críticos para la economía local que los tres anteriores. En 1934 la superficie irrigada del valle rebasaba las 63 mil hectáreas, a pesar de la intensa sequía que se dejó sentir en el valle en ese año y que se manifestó en una grave baja en el nivel del río. Al mismo tiempo los esfuerzos del gobierno de Olachea por impulsar el cultivo del trigo, como opción frente al algodón eran calificados de exitosos. A partir de 1932 creciente volúmenes de trigo se vendieron tan lejos como la ciudad de México, cosa que hizo mejorar la situación económica local. Olachea, en particular, estableció arreglos con las principales compañías del Valle (la Colorado y la Jabonera) para promover la siembra de mayores superficies de tierra y aliviar en algo el desempleo. Las compañías aportaban tierras, agua y aperos, y el gobierno otorgaba gastos de subsistencia a los trabajadores. El producto se distribuía al final en un 30% para las compañías y un 70% para el gobierno. A partir de 1933, en general, los reportes consulares empezaron a dejar de hablar de la crisis y del desempleo y dedicaron líneas cada vez más frecuentes a otros asuntos, como por ejemplo los intentos de dos compañías norteamericanas por deshacerse de sus propiedades en Mexicali.

La primera de ellas era la compañía Algodonera de Baja California, subsidiaria de la Globe Grain and Milling Company de Los Ángeles, que en los primeros meses de 1933 empezó a negociar la venta o renta de sus 14 mil acres de tierra y de un despepitador. En septiembre siguiente el cónsul Bowman informaba que confidencialmente, se sabía que el gobierno mexicano había adquirido en 300 mil dólares la empresa mencionada (Aboites, 1991).

Hablar de agricultura tecnificada en Baja California significaba hasta hace poco hacer referencia única al Valle de Mexicali, irrigado con aguas del Río Colorado. La producción de esa zona, sobre todo del algodón, ha significado importante fuente de trabajo y de ingresos. Sin embargo, aun allí mismo se han presentado problemas causados por las aguas que se aprovechen, las del colorado, que durante los últimos años, no obstante el tratado con los Estados Unidos, han estado llegando contaminadas. La pregunta que se impone es cómo resolver sin ulterior demora esta cuestión e términos del derecho internacional o de la moderna técnica. (León – Portilla, 1995)

En la década de los cuarenta, el 18 de mayo de 1940, se registró un temblor de 6.5° Richter que provocó serios daños a la infraestructura social de la ciudad, y principalmente a sus viviendas, que eran en su mayoría de adobe con techos de madera o teja. También en este año, después de que ya venía desarrollándose en forma importante la actividad agrícola en la zona, se formaliza una industria, la algodонера, con la Globe Mill Oil, que posteriormente, en 1945, cambió y se dividió en Algodonera del Valle S. A. y Aceitera del Valle S. A. de C. V. Años más tarde, el 16 de diciembre de 1947, se inauguró el ferrocarril Sonora-Baja California, que corría de Benjamín Hill a Mexicali; así, la ciudad queda vinculada por tierra y vía férrea a toda la República Mexicana. Se logró con el fin de mantener ligada a la región peninsular con el resto del país, y de impulsar, además, la economía de la Baja California.

En este lapso, el acontecimiento más relevante es la implantación del Programa de Braceros en 1942, ya que se da una fuerte migración hacia Estados Unidos con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, al reducirse la mano de obra agrícola en ese país, hecho que repercute en la zona fronteriza, que se ve invadida por corrientes migratorias que se dirigen a los centros de producción estadounidenses, especialmente a trabajar en el campo.

Dicho programa tenía el objetivo de la contratación masiva, pero selectiva, de mexicanos que en ese momento representaban la mano de obra capacitada para trabajar en el campo por el bajo costo y alto rendimiento que registraban.

En la década de los años sesenta el territorio de Baja California pasa a ser el vigésimo noveno estado de la federación y Mexicali sigue siendo la sede de su capital. Se crearon algunas industrias complementarias a la actividad agrícola, las cuales convirtieron al municipio y la localidad de Mexicali en un centro industrial importante.

Se implanta el Programa de Industrialización Fronteriza en 1965, que atrajo considerable número de migrantes no sólo a ésta, sino a todas las localidades fronterizas del estado de Baja California. Esto trajo como consecuencia el aumento de trabajadores transmigrantes (personas que residen en un lado de la frontera y trabajan en el otro, cruzando día con día), los cuales efectúan un proceso eminentemente urbano, pues tanto la residencia como el empleo, en la mayoría de los casos, se localizan en las ciudades. La cifra al respecto en este período alcanzó 4 692 trabajadores transmigrantes en la localidad de Mexicali.

El Valle de Mexicali, que a inicios del siglo XX fue prácticamente propiedad de una sola compañía extranjera, estaba distribuido hacia los años sesenta entre 5 653 ejidatarios y 3 799 colonos en 11 546 ha. En 1963 cierran las compañías aceiteras que se ubicaban en la zona, donde actualmente se encuentra el Centro Cívico y la zona comercial de Mexicali.

Para la década de 1970 la población originaria de Mexicali, constituida anteriormente por gran número de migrantes, se convierte en mayoría, ya que se triplicó con respecto a la década anterior, iniciándose una transformación urbana.

En el decenio de 1980 Mexicali se desarrolló notablemente; se trata de un período de crecimiento general en el que la ciudad vio mejorada su fisonomía, destaca la construcción del Centro Cívico, que alberga los edificios de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial del estado.

Ya a partir de 1990 Mexicali es un centro urbano de importancia nacional, con lo que la actividad comercial se intensificó notablemente. Cabe destacar que precisamente en esa zona urbana se concentra 72.8% de la población del municipio de igual nombre (Padilla, 2000).

1.2 LA IMPORTANCIA DEL RÍO COLORADO EN EL DESARROLLO SOCIAL Y AGRÍCOLA DEL VALLE DE MEXICALI

A principios del siglo XX el llamado Valle de Mexicali correspondía a la parte sur de la gran llanura aluvial que formó el río Colorado a través de miles de años de acarreo de detritos.

Al norte se encontraba, como hasta la fecha, la línea divisoria; al sur el golfo de California; al oeste el complejo montañoso cerro Centinela – sierra Cucapá – cerro El Mayor; y al

este el cauce del río Colorado, que corría adyacente a la mesa de San Luis hasta 1909, y por consiguiente el río era el límite con el estado de Sonora. Posteriormente cambió su cauce.

En agosto de 1945, los representantes del estado de Sonora y del Territorio de la Baja California, levantaron y firmaron las actas correspondientes a la demarcación de la nueva línea divisoria entre las dos entidades federativas. Así se origino el valle de San Luis Río Colorado en Sonora.

El río Colorado nace de los deshielos de las montañas Rocallosas. Tiene una longitud de 2,730 kilómetros, de los cuales 160 corresponden a México. De estos, 29 kilómetros sirven de límite entre Arizona y Baja California y 92.5 dividen los estados de Baja California y Sonora. Se considera que la cuenca total del río en territorio estadounidense es de 632,000 kilómetros cuadrados, y a México corresponden 3,840 kilómetros cuadrados en los estados de Sonora y Baja California. Con anterioridad a la división territorial, impuesta en 1848 por el tratado de Guadalupe Hidalgo, esta gran arteria fluvial y sus afluentes quedaban comprendidos por entero en territorio mexicano.

Se ha acostumbrado dividir la cuenca total del río en alta y baja. La primera queda localizada en las montañas Rocallosas. La parte baja comprende principalmente los estados de Arizona, parte de Nuevo México y parte de Nevada, en la que se captan las avenidas del río Gila y la aportación de las lluvias de verano. El valle de Mexicali está comprendido en el bajo delta del río, que tiene su punto más alto en la presa Morelos, con 35 metros sobre el nivel del mar, hasta encontrar las altas mareas del golfo de California a una altitud de seis metros sobre el nivel del mar.

El río Colorado, en sus grandes avenidas, durante los deshielos en las montañas o después de súbitos aguaceros en las partes altas de sus cuencas alimentadoras, se abría paso siguiendo una línea de menor resistencia y, desviándose ante los obstáculos naturales, descargaba sus sedimentos al encontrar una repentina disminución de la pendiente que buscaba el nivel de las aguas marinas. La corriente se diversificaba por múltiples brazos para formara islas de contorno triangular, de donde proviene el nombre de la región, por semejanza con la figura que representa a la cuarta letra del alfabeto griego.

Sin embargo, la desembocadura del río Colorado difiere de otras zonas deltaicas. Esta gran corriente, al desviarse lateralmente, formó una barrera de azolve que interceptó las aguas del golfo de California y dejó aislada la porción superior, que con el tiempo llegó a desecarse por completo. Su parte más profunda, convertida en un lago interior, se conoce actualmente con el nombre de mar de Salton.

Otra peculiaridad de la morfología deltaica, consecuencia evidente del abanico aluvial mencionado, es la existencia de una elevada y ancha cresta en el valle de Mexicali, la cual divide dos vertientes con declives desiguales: hacia el golfo de California una de ellas, y a la depresión antes mencionada, la de mayor desnivel.

El instituto Geológico de México, al explorar la región norte del Territorio de la Baja California, la dividió en cuatro secciones que estudió detenidamente. La región oriental fue la primera de ellas, la que comprendió especialmente el delta del río Colorado. La segunda fue la parte central elevada, o sea la cadena montañosa que puede considerarse como eje de la península. La tercera comprendió la costa y región del golfo de California, en tanto que la cuarta la consideró formada por el litoral del Pacífico hasta las salinas de Ojo de Liebre. Se recabaron de cada una de estas zonas los datos relativos a su fisiografía, geología general, hidrología, recursos naturales y vías de comunicación.

La fisiografía del delta interior está bien definido por el relieve circundante y por accidentes geográficos comprendidos en su entrono: hacia el noroeste, el cerro denominado El Centinela, que sobresale en territorio nacional entre las mojoneras 224 y 225 de la línea divisoria internacional, como una gigantesca atalaya separada, por un estrecho cañón, del núcleo montañoso subsecuente, que lleva el nombre de la sierra los Cucapá. Esta serranía constituye una inmensa intrusión granítica, que los geólogos denominan batolito, característico de la era terciaria, y termina en la sierra de El Mayor.

El contorno del valle queda definido hacia el oriente por las mesetas arenosas de San Luis y de Andrade. Y cerrado el perímetro deltaico se extiende la llamada mesa este, que bordea el Valle Imperial. El valle de Coachella, en territorio estadounidense, era otra de las superficies regables con aguas del Colorado; se ubica hacia el norte de la depresión de Salton y queda comprendido entre las montañas Chocolate y las de Santa Rosa (Walther, 1996).

Como ya se había mencionado el valle de Mexicali se encuentra localizado en el extremo noreste de la península de Baja California y en la parte sur del valle geográfico del Bajo Río Colorado. Su extensa planicie comprende aproximadamente 350,000 hectáreas. Al norte, la línea divisoria internacional marca el límite con los condados de Imperial y Yuma, en los estados de California y Arizona; al sur y al oeste limita con la Sierra de los Cucapá. El 80 por ciento de su territorio se localiza en el estado de Baja California y sólo un 20 por ciento en el de Sonora.

En el siguiente mapa se muestra la ubicación general del área agrícola del Valle de Mexicali.

FIGURA 1.1: UBICACIÓN DEL ÁREA AGRÍCOLA DE MEXICALI



Fuente: Elaboración propia.

En la última década del siglo XIX, la región del Valle de Mexicali constituía un vasto desierto. La falta de caminos y la escasez de agua para usos agrícolas y humanos fueron dos factores que retardaron la colonización de Baja California hasta la segunda mitad el

siglo XIX. La colonización de la península se había desarrollado en mayor medida en su porción sur (en el actual estado de Baja California Sur) y en la costa occidental del Territorio Norte. Durante el régimen porfirista, las inversiones de capital nacional y extranjero en la minería y en las comunicaciones marítimas y ferroviarias estimularon el poblamiento de la península y favorecieron el crecimiento de sus actividades productivas. Las concesiones territoriales del Siglo XIX, otorgadas a compañías de capital extranjero, posibilitaron, por una parte, la creación de asentamientos poblacionales vinculados principalmente con la minería y, por otra, la comunicación al interior de la península y con el resto del país, gracias a la construcción de líneas cortas de ferrocarril de uso industrial y algunos caminos carreteros que unían los principales puertos marítimos con pequeños poblados. En el desarrollo de las comunicaciones ferroviarias prevaleció la construcción de vías de minas interiores y exteriores para beneficio de las compañías mineras establecidas en la península y fueron muy escasas las vías de ferrocarriles de servicio público común.

En las regiones con escasa densidad de población, las concesiones otorgadas a las compañías colonizadoras para el deslinde y venta de terrenos baldíos buscaban promover una migración interna y la inmigración de colonos extranjeros para la colonización de áreas menos pobladas y tierras vírgenes. Por otra parte, el deslinde de las tierras públicas fue un paso hacia la construcción de una economía capitalista moderna, un paso necesario para atraer nuevas inversiones hacia México. En las postrimerías del Porfiriato, el proceso de integración de tierras al mercado coincidió con la creciente inversión de capital extranjero en los sectores agropecuario, minero, industrial y de servicios en distintas regiones del país. En los estados del norte, la expansión económica del capital norteamericano hacia el sur de la frontera encontró las facilidades necesarias para adquirir grandes extensiones territoriales y los derechos sobre los recursos del suelo y del subsuelo. El proyecto colonizador del Porfiriato marcó las tendencias de apropiación territorial de la Península y el establecimiento de actividades económicas permanentes para la reproducción física y social de la población comprometida en los contratos de colonización. La política colonizadora del régimen porfirista aportó el cauce legal para que fluyera la expansión económica norteamericana.

La realidad insoslayable de esa expansión la incorporó a un programa estatal encaminado a poblar y desarrollar, es decir, colonizar, las regiones deshabitadas del territorio mexicano, entre las que destacaba la frontera norte.

En el caso del Valle de Mexicali, para las compañías deslindadoras el concepto de colonización se relacionó con la compra y venta de tierras y la ganancia obtenida en la transacción. A finales del Siglo XIX, aunque los contratos de colonización establecían compromisos para crear centros de población, las compañías mostraban poco interés en realizar inversiones de capital en actividades productivas que permitieran el asentamiento definitivo de colonizadores en la región. Una de las compañías deslindadoras que había iniciado tímidamente la colonización del Valle de Mexicali fue la Compañía Mexicana, Agrícola, Industrial y Colonizadora de Terrenos del Río Colorado, creada con objeto de explotar el cáñamo silvestre que crecía en las tierras cercanas a las orillas del Río Colorado en Sonora y Baja California. Su extensa propiedad había sido adquirida al amparo de la Ley de Colonización y Terrenos Baldíos y titulada por el gobierno de Lerdo de Tejada en 1876. Mediante un convenio celebrado con el gobierno federal, la compañía se había comprometido a establecer doscientas familias de colonos en un plazo de cinco años, proporcionarles gratuitamente terreno para casas y tierras para cultivo, en venta a plazos o en arrendamiento, y les suministraría además víveres por un año, instrumentos de labranza, animales de tiro y materiales de construcción, al precio corriente en Guaymas. En el plazo fijado, la compañía solamente logró establecer una colonia en la margen sonorenses del Río Colorado; centro de población en donde se sembraban trigo, cebada, algodón, alfalfa y tabaco y se introdujo ganado fino de crianza. En 1878, el gobierno porfirista concedió a la Compañía 300,000 hectáreas para la colonización de las tierras ubicadas en las márgenes del Río Colorado (el territorio que actualmente conforma el Valle de Mexicali). La compañía, a través de su principal socio y representante en México, Guillermo Andrade, celebró con la Secretaría de Fomento otro contrato, comprometiéndose a abrir dos caminos carreteros para beneficiar la comunicación en la región, uno del mineral Real del Castillo al puerto de San Felipe en el Golfo de Baja California y el otro de la colonia Lerdo al fuerte Yuma, en Arizona.

Como la Compañía no había cumplido los compromisos de colonización establecidos con el gobierno federal, solicitó en tres ocasiones prórrogas para llevarlos a efecto. En 1888, las autoridades rescindieron el convenio con la Compañía por incumplimiento de sus obligaciones de colonización y mediante una escritura de promesa de venta, el gobierno se comprometió a vender *en pleno dominio* a Guillermo Andrade 305,735 hectáreas en la región del Colorado. En agosto de ese mismo año Andrade recibió los títulos de propiedad.

Los intentos de colonización territorial y poblacional promovidos por la administración porfirista en la península sólo podrían realizarse con el paralelo establecimiento de actividades económicas que permitieran la reproducción física y social de sus habitantes. Para poblar el desierto del Colorado, el proyecto de colonización debió ceder paso al de inversión de capital en actividades productivas. La California Development Company fue la primera compañía norteamericana que realizó una considerable inversión de capital para la construcción de los sistemas de riego que permitirían transformar las tierras sujetas a especulación en tierras para usos agrícolas. La compañía había iniciado un ambicioso proyecto para irrigar y colonizar las tierras del Desierto del Colorado, localizadas justo al norte de la línea fronteriza entre México y Estados Unidos, en California (en el actual territorio del Valle Imperial). Por las características topográficas de la región, para derivar las aguas del Río Colorado era necesario canalizarlas por territorio mexicano, aprovechando el cauce natural del Río Álamo, localizado al sur de la frontera con México, en el actual territorio del Valle de Mexicali. Con la posibilidad de irrigar también la porción sur del Delta del Colorado, la posesión de la tierra se convirtió en la base de un negocio promisorio para un grupo de empresarios californianos que proyectaban destinar sus inversiones a la construcción de un moderno sistema de irrigación, que permitiría transformar las tierras sujetas a especulación en tierras para usos agrícolas y desarrollar actividades productivas vinculadas con su aprovechamiento.

El surgimiento de las actividades productivas y el establecimiento de asentamientos poblacionales permanentes en el Valle de Mexicali se relacionan tanto con la política porfirista de la colonización de nuevas fronteras internas, como con la expansión del capital norteamericano a la región, a través de inversiones destinadas a la construcción de infraestructura de irrigación para el aprovechamiento de las potencialidades productivas que presentaba la desértica e inhabitada planicie -fertilizada con residuos orgánicos depositados durante un largo periodo geológico por constantes inundaciones del Río Colorado.

Dos aspectos destacan en el análisis de la creación de las condiciones materiales que propiciaron el establecimiento de la agricultura en la región. Por una parte, la construcción y operación de los sistemas de irrigación a gran escala que permitieron la transformación y el aprovechamiento de miles de hectáreas potencialmente productivas en fértiles tierras para cultivo. Por otra, la introducción de líneas ferroviarias a la región que favoreció y amplió el desplazamiento y tránsito de mercancías, capitales y fuerza de trabajo y las

perspectivas de los cultivos para un mercado más amplio que el de subsistencia y el regional.

A mediados del siglo XIX, los primeros estudios técnicos realizados con objeto de canalizar las aguas del Río Colorado para irrigar las tierras localizadas en el actual territorio del Valle Imperial, permitieron evaluar las posibilidades de irrigar también la planicie localizada al sur de la frontera internacional, para crear una gran unidad geográfica y económica para el desarrollo agrícola. A pesar de las evaluaciones técnicas realizadas tanto por ingenieros norteamericanos como mexicanos sobre las potencialidades de las tierras para usos agrícolas en la extensa planicie del Delta del Bajo Río Colorado, el surgimiento y desarrollo de la agricultura se realizaría a partir de una evaluación empresarial que, además de considerar las características físicas y topográficas, evaluó el potencial económico de la región.

La creación del Valle de Mexicali hace referencia a su génesis como entidad productiva en la que la inversión de capital norteamericano y los trabajadores migratorios hicieron posible la transformación del desierto en tierras irrigadas propias para el cultivo. La conquista económica del Desierto del Colorado se inició con la expansión del capital norteamericano a la región, con inversiones destinadas a la construcción de infraestructura de irrigación y comunicaciones terrestres y el establecimiento de los primeros asentamientos poblacionales de carácter permanente.

La construcción y operación de los sistemas de irrigación a gran escala permitieron la transformación y el aprovechamiento de miles de hectáreas vírgenes en fértiles tierras cultivables. La introducción de líneas ferroviarias a la región favorecieron y ampliaron el desplazamiento y tránsito de mercancías, capitales y fuerza de trabajo y el intercambio de productos y cultivos para un mercado más amplio que el de subsistencia o el regional. La inversión de capital en irrigación, comunicaciones y en la incipiente actividad agrícola en los valles de Mexicali e Imperial conformó una región con amplias posibilidades económicas y una gran capacidad de producir en escala ampliada, con la consecuente necesidad de fuerza de trabajo para abastecer el mercado laboral.

Durante la primera década del siglo XX, la producción agrícola en el Bajo Delta del Río Colorado (que comprendía el actual territorio de los valles de Mexicali e Imperial) se desarrolló en pequeña escala. En Mexicali, las primeras siembras de algodón en vías de experimentación se efectuaron en 1901; en el ciclo agrícola 1912- 1913, el primer registro

estadístico de la producción algodonera del Valle de Mexicali reportó 12 hectáreas sembradas y 15 pacas cosechadas. Un año después, se realizó la primera siembra de algodón en escala ampliada: en una extensión de 4,400 hectáreas se cosecharon 3,700 pacas. De manera creciente el sector agrícola del Valle de Mexicali tendía a especializarse en el monocultivo del algodón.

La enorme extensión del Valle, adquirida inicialmente por propietarios nacionales y extranjeros al amparo de las leyes de colonización y deslinde de terrenos baldíos, y posteriormente transferida a la Colorado River Land Company mediante contratos de compra venta, fue abierta al cultivo expresamente con fines de intercambio mercantil, para el cultivo de un producto de gran demanda en el mercado internacional: el algodón.

En territorio mexicano, con inversiones crecientes de capital, los empresarios norteamericanos ampliaron la extensión bajo cultivo más de diez veces en menos de una década: de 4,400 hectáreas sembradas de algodón en 1913, siete años después se sembraban 50,000 hectáreas. La producción agrícola del Valle de Mexicali se caracterizó desde sus inicios por una organización moderna, abiertamente empresarial, eficiente y plenamente capitalista, que no enfrentó una estructura social y económica anterior, sino que creó su propia organización productiva, y, consecuentemente, tuvo que crear las condiciones para la reproducción del capital y de los trabajadores que participaron en el proceso de construcción de la estructura productiva regional. En Mexicali podemos apreciar la conformación de una estructura económica donde el capital abre tierras vírgenes a la agricultura, y le corresponde a él establecer las condiciones que aseguren su adecuada reproducción y supervivencia material y social.

La unidad geofísica conformada por los dos valles fue también una unidad económica durante las primeras tres décadas del siglo. Con grandes inversiones de capital norteamericano en la construcción de obras de irrigación y una organización de la producción a gran escala se logró la conquista del desierto y su transformación en una de las regiones agrícolas más productivas en ambos lados de la frontera. Si los valles de Imperial y Mexicali como estructuras geofísicas son producto del desenvolvimiento del Río Colorado, como estructuras económicas son producto de la inversión de capital norteamericano para el desarrollo de la agricultura en la región (Anguiano, 1992).

Actualmente el estado de Baja California cuenta con 7, 011, 300 has., de las cuales son cultivables 431,600 (6.2%). Del total de la superficie agrícola, 34% corresponde al

régimen ejidal y el 66% restante a otro tipo de tenencia. Se distinguen 2 regiones agropecuarias: el Valle de Mexicali, donde se practica una agricultura de riego, y la zona de la Costa, que incluye cultivos de riego y de temporal. El Valle de Mexicali forma parte del Distrito de Riego No. 14 y tiene una superficie bruta de 207,000 has. De aquéllas, 136,000 se riegan por gravedad y 54,000 por bombeo de 500 pozos, las 17, 000 hectáreas restantes corresponden a áreas de temporal.

Baja California es el tercer productor de trigo en México después de Sonora, en los últimos cinco años su producción ha sido del orden de 554 mil toneladas con una Tasa Media Anual de crecimiento de 1.3% entre 2000-2008

En ese mismo período la superficie promedio sembrada de trigo fue de 91,129 Ha, con una Tasa media anual de Crecimiento de 0.8%, no obstante que la superficie sembrada se mantiene casi igual, la producción aumento por un incremento en los rendimientos unitarios al pasar de 5.3 ton/ha en 1990 a 5.9 Ton/Ha en 2000 y 6.2 Ton/Ha que se tiene actualmente, este incremento es debido al cambio en variedades más productivas.

En Baja California se produce principalmente trigo cristalino (86.5%) e3 la producción estatal) y en mucho menor proporción trigo harinero – duro (13.5%). En el ciclo O-I 2007-2008 se cultivaron cinco variedades de trigo cristalino y cuatro de trigo harinero-duro. Más del 76.0% de la producción incluye los trigos cristalinos Rafi C97 (47.3%) y Aconchio C89 (27.3%). Las siete variedades restantes de trigo cristalinos y harinero-duro contribuyeron desde 0.6% hasta 11.0% de la producción total del estado.

El periodo de siembra se divide en dos ciclos denominados Primavera - Verano y Otoño - Invierno. Los cultivos que tienen una producción continua se denominan perenes. En el Valle de Mexicali se siembra algodón, sorgo, maíz , ajonjolí, calabacita, cebollín, chile, melón, pepino, perejil, sandía,, tomate, cártamo, cebada, trigo, acelga, ajo, betabel, brócoli, cebolla, coliflor, chícharo, nabo, ejote, espinaca, lechuga, rábano, repollo, zanahoria, alfalfa, vid y espárrago. (Cuadro 1.1)

En el Distrito de Riego No. 14, llamado Distrito de Desarrollo Rural 002 Río Colorado a partir del acuerdo del 8 de agosto de 1988, se tienen registrados 13,000 usuarios. La actividad agrícola brinda empleo a muchos trabajadores que no son usufructuarios de la tierra; genera divisas, pues se exporta el 20% de la producción hortícola y el 90% de la

cosecha de algodón; abastece a la población de alimentos, especialmente de trigo y ha contribuido a desarrollar la industria.

El trigo es el cultivo más importante en el valle de Mexicali durante el ciclo Otoño – Invierno, ocupando casi la totalidad del área agrícola, con esto Baja California se convierte en el tercer lugar a nivel nacional en superficie sembrada y cosechada de trigo, solo superada por Sonora y Guanajuato.

CUADRO 1.1: CIERRE DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA POR CULTIVO EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, OTOÑO – INVIERNO 2008.

| | Cultivo | Superficie Sembrada (Ha) | Superficie Cosechada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento (Ton/Ha) | PMR (\$/Ton) | Valor Producción (Miles) |
|----|------------|--------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | TRIGO | 82,142.00 | 81,958.00 | 527,768.20 | 6.44 | 3,766.44 | 1,987,807.26 |
| 2 | RYE GRASS | 4,549.00 | 4,549.00 | 191,785.84 | 42.16 | 250 | 47,946.46 |
| 3 | CEBOLLA | 3,184.00 | 3,184.00 | 35,328.00 | 11.1 | 4,245.16 | 149,973.00 |
| 4 | AVENA | 1,047.00 | 1,047.00 | 26,175.00 | 25 | 220 | 5,758.50 |
| 5 | RABANO | 580 | 580 | 4,640.00 | 8 | 4,450.00 | 20,648.00 |
| 6 | LECHUGA | 579 | 579 | 13,896.00 | 24 | 5,500.00 | 76,428.00 |
| 7 | CARTAMO | 517 | 513 | 543.78 | 1.06 | 4,112.00 | 2,236.02 |
| 8 | VARIOS | 456 | 456 | 5,016.00 | 11 | 4,200.00 | 21,067.20 |
| 9 | CILANTRO | 439 | 439 | 2,195.00 | 5 | 3,200.00 | 7,024.00 |
| 10 | BROCOLI | 414 | 414 | 7,452.00 | 18 | 5,250.00 | 39,123.00 |
| 11 | LEEK | 360 | 360 | 5,400.00 | 15 | 6,051.00 | 32,675.40 |
| 12 | APIO | 303 | 303 | 4,545.00 | 15 | 5,271.00 | 23,956.70 |
| 13 | CEBADA | 295 | 295 | 7,375.00 | 25 | 320 | 2,360.00 |
| 14 | AJO | 236 | 236 | 1,652.00 | 7 | 8,000.00 | 13,216.00 |
| 15 | QUELITE | 235 | 235 | 1,762.50 | 7.5 | 4,151.00 | 7,316.14 |
| 16 | PEREJIL | 180 | 180 | 960 | 5.33 | 5,070.00 | 4,867.20 |
| 17 | CALABACITA | 140 | 140 | 1,680.00 | 12 | 9,300.00 | 15,624.00 |
| 18 | RAPINI | 140 | 140 | 840 | 6 | 6,900.00 | 5,796.00 |
| 19 | BETABEL | 123 | 123 | 2,214.00 | 18 | 6,410.00 | 14,191.74 |
| 20 | ESPINACA | 90 | 90 | 720 | 8 | 5,976.00 | 4,302.72 |
| 21 | TOMATE | 81 | 81 | 729 | 9 | 5,600.00 | 4,082.40 |
| 22 | COL | 47 | 47 | 1,316.00 | 28 | 2,640.00 | 3,474.24 |
| 23 | ACELGA | 42 | 42 | 252 | 6 | 5,976.00 | 1,505.95 |
| 24 | COLIFLOR | 36 | 36 | 828 | 23 | 5,000.00 | 4,140.00 |
| 25 | NABO | 31 | 31 | 279 | 9 | 4,510.00 | 1,258.29 |
| 26 | NAPA | 30 | 30 | 570 | 19 | 6,000.00 | 3,420.00 |
| 27 | ZANAHORIA | 29 | 29 | 1,015.00 | 35 | 4,550.00 | 4,618.25 |
| 28 | FLOR KALE | 22 | 22 | 176 | 8 | 4,414.00 | 776.86 |
| 29 | CHILE | 20 | 20 | 360 | 18 | 5,000.00 | 1,800.00 |
| 30 | KALE | 20 | 20 | 140 | 7 | 4,450.00 | 623 |
| 31 | KOHLRABI | 10 | 10 | 50 | 5 | 3,200.00 | 160 |
| 32 | SANDIA | 7 | 7 | 196 | 28 | 2,600.00 | 509.6 |
| 33 | PEPINO | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 96,390.00 | 96,196.00 | | | | 2,508,685.93 |

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2010).

El cuadro anterior nos demuestra la importancia del trigo en el valle de Mexicali en el ciclo otoño – Invierno, se puede observar que la mayor superficie sembrada corresponde a este cultivo y por consecuencia los mayores valores de producción.

1.3 MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS POR MUESTREO DE ÁREAS Y TELEDETECCIÓN ESPACIAL

A través del tiempo, diversas civilizaciones han empleado el registro o estadísticas de sus cosechas. Sin embargo, fue hasta la cultura romana cuando se usó el término “estadística”, con el objetivo de recopilar información de censos de población, nacimientos, defunciones, cosechas e impuestos, entre otros. Posteriormente, la cultura germánica usó el término “Statistik” introducido por Gottfried Achenwall en 1749, para el análisis de la información por el Estado; no obstante, fue hasta el siglo XIX cuando el inglés John Sinclair le dio el significado que actualmente se usa; es decir, el de recolectar y clasificar información (Calvo, 2000).

La organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 1982) indica que las estadísticas de superficies y rendimientos de cultivos, son una de las actividades más importantes para la organización, así como el entendimiento de los factores que determinan la producción agrícola. A pesar de ello, en la mayoría de los países subdesarrollados la compilación es nula o se carece de información continua y detallada.

La importancia en las estimaciones de producción agrícola radica en la formulación y evaluación de planes de desarrollo, basados en la disponibilidad de estadísticas completas y de buena calidad. Su conocimiento oportuno y objetivo permite coadyuvar en la seguridad alimentaria y disponibilidad de materias primas, así como diseñar e instrumentar las políticas de comercialización (importación, exportación y apoyos a la comercialización). Además se puede cuantificar, ubicar y determinar la estacionalidad de los volúmenes de producción, los cuales al no generarse se convierten en un factor limitante para el progreso de un país (Torres, 2003).

Las estadísticas agrícolas han mantenido un lugar prominente en Europa, lo que refleja la relevancia del sector agrícola en la economía y su papel como principal usuario de recurso suelo. La importancia de la información en la planeación a mediano plazo se

encuentra estrechamente vinculada con los procesos de ampliación del sector agrícola, la cual está encaminado a promover la competitividad y la sostenibilidad en los mercados bajo una integración armonizada de la zona rural respondiendo a las preocupaciones de la sociedad (Andersen y Tonboe, 1999). Para cualquier programa de desarrollo nacional es necesario disponer de series cronológicas de producción agrícola que incluyan la superficie cultivada y el rendimiento por unidad de superficie.

La importancia de la estadística agrícola en los EUA se remonta a lo ocurrido en junio de 1905, cuando se reportó menor superficie cultivada de algodón de la que en realidad existía. Esto generó el reproche de los mismos miembros del Departamento de Agricultura y se propuso una nueva forma de emitir reportes, la cual fue plasmada en el anuario de estadísticas agrícolas del mismo año (Allen, 2007). Estos reportes, han evolucionado en diferentes etapas: la primera de 1910 a 1930, conocida como el periodo de expansión y descentralización; la de 1933, impactada por la gran depresión; y la última en 1961, con la creación del servicio de Reportes Estadísticos, SRS (por sus siglas en inglés) y el servicio de Investigación Económica (ERS). Esta última se convirtió en el NASS (Nacional Agricultural Statistics Service) con autonomía propia encargada de recopilar y difundir las estadísticas agrícolas.

La era moderna de la estadística, para estimar la superficie cultivada, se inició en 1957, a través del uso de fotografías aéreas y de entrevistas en forma aleatoria a productores, metodología denominada “segmentos” (Allen, 2007). Esta fue reemplazada en 1978 por imágenes de satélite Landsat aparentemente por disminución de costos y por ser más precisas (Hanuschal, 1992). Asimismo, propusieron implementar nuevos productos cartográficos a nivel de condado que mostrara las estimaciones, cobertura y desarrollo de cultivos, isolíneas de heladas mensuales y encuestas de productores sobre los rendimientos agrícolas (Muller et al. 1995).

Para la Comunidad Europea, el órgano encargado de estimar las estadísticas agrícolas es la Dirección General de Agricultura (DG-AGRI). Esta dirección fue creada con el objeto de regular y actualizar la información de la superficie agrícola cultivada mediante una Política Agrícola Común (PAC) a partir de la estimación de la producción agrícola en todo el territorio miembro de la comunidad. EUROSTAT, es la oficina encargada de almacenar y ordenar la información estadística generada por los miembros de la comunidad, manteniendo actualizada todas las bases de datos (Boissezon y Sharman, 1993).

Tanto DG-AGRI como EUROSTAT iniciaron conjuntamente en 1988 un proyecto de monitoreo agrícola con teledetección (MARS, Monitoreo de la Agricultura con Sensores Remotos), organizado por el Instituto de Aplicación Espacial del Centro Conjunto de Investigación (JRC; Joint Research Centre).

De esta manera MARS–Stat continuamente ha desarrollado y ejecutado un sistema operativo de previsión con el fin de proporcionar oportunamente las estimaciones de producción a nivel europeo. Este sistema es capaz de observar el crecimiento vegetativo de diversos cultivos como: cereales, semillas oleaginosas, proteaginosas, remolacha, papa, pastos y arroz. Además incluye efectos a corto plazo de fenómenos meteorológicos en la producción anual como resultado de la observación por los sensores NOAA-AVHR, SPOT-VGT, MODIS, MSG; observaciones meteorológicas, modelos agrometeorológicos y análisis estadístico como herramientas del sistema (GEO, 2009).

Así, EUROSTAT, DG-AGRI y JRC iniciaron un proyecto denominado “Land Use/Cover Area-Frame Statical Survey” (LUCAS) a raíz de la decisión tomada en el parlamento europeo de aplicar los levantamientos en áreas agrícolas con técnicas de teledetección y uso de estadísticas agrícolas entre 1999 y 2003 (EUROSTAT, 2003).

De esta manera el proyecto LUCAS proporcionó la siguiente información (Jacques y Gallego, 2006):

- a) Una metodología común para la clasificación, obtención de datos, estimación de uso y cobertura del suelo.
- b) Información armonizada para todo el territorio de la Unión Europea.
- c) Información del rendimiento y superficie de cultivos potencialmente rápida.
- d) Una plataforma dedicada a estudios sobre erosión del suelo y paisaje.
- e) Datos estadísticos para la aplicación de algunos indicadores que midan la preocupación ambiental en la política agrícola común.

Por consiguiente, la metodología de segmentación por encuestas fue adoptada por todos los miembros de la comunidad europea, la cual establece la obligación de suministrar a la oficina de estadística EUROSTAT información anual sobre las superficies cultivadas de cereales, obtenidas por métodos estadísticos que garanticen su calidad, objetividad y fiabilidad (ESYRCE, 2008).

En México, la primera estadística agrícola se realizó hasta el censo agropecuario de 1930 con el objeto de conocer el estado en que se encontraba la agricultura nacional, para que el gobierno ya con datos precisos, pudiera orientar sus actividades e impulsar el ramo. A partir de entonces, cada 10 años se efectuaría un censo. Fue hasta 1970 cuando se planteó obtener información que permitiera conocer mejor los factores sociales y económicos que constituían la estructura agrícola del país (Ceja, 1983). A pesar de la buena intención, transcurrieron 20 años sin información agropecuaria nacional, con déficit y graves consecuencias para el país ya que el proceso de 1980 falló al no cubrir los requisitos técnicos y hasta 1991 y 2001 los censos agropecuarios se renovaron (Huicochea, 2002).

El gobierno de México, a través de la Secretaría de Marina (SEMAR), realizó un convenio con Spot Image que dio origen a la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS), el cual, junto con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) concretaron el proyecto “Programa nacional Estimación de Superficie, Producción y Rendimiento” (PRONESPRES, 2004). Coordinado por la Subsecretaría de Agricultura se realizó un esfuerzo interinstitucional entre ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria), INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera), y constituyeron un grupo colegiado con la finalidad de estimar la superficie y los rendimientos en los principales cultivos para generar estadísticas agrícolas anuales. El grupo colegiado fue apoyado por personal especializado de la Escuela Superior de Agricultura de Purgan, Francia, y emplearon la metodología utilizada por la Comunidad Europea, adecuándola a las condiciones propias de México (Pieyrot y De la Sierra, 2007).

En el año 2007 el PRONESPRES pasó a formar parte del SIAP con el nombre de SINEC (Sistema Nacional de Encuestas Continuas) en el que se adoptó la metodología de la Unión Europea con el Proyecto MARS, al que se le hicieron algunas adaptaciones a las condiciones propias de México, como la tasa de levantamiento de información en campo; es decir, se requirió elevar la tasa de muestreo empleada en Europa de 1.5% al 3% dado el alto nivel de minifundio predominante en México, así como la heterogeneidad de cultivos en la mayoría de las regiones agrícolas.

Partiendo de la información anterior, utilizamos un muestreo aleatorio estratificado, donde nuestro estrato a utilizar es toda el área agrícola la cual es acotada con anticipación para

mayor precisión; De aquí utilizamos como muestra el 3% con respecto al total del estrato agrícola; y mediante el software ArcView v. 3.2 se generan por medio de un script, la distribución de forma aleatoria de los segmentos que no son más que nuestras unidades de muestreo a utilizar, quedando distribuidos en el área agrícola de los municipios que intervienen basados en el tamaño agrícola de cada uno ellos. El script utilizado cumple ciertos criterios técnicos para el proceso posterior de estimación.

En el 2008, se ha tenido que readaptar mejorando los insumos utilizados y la tecnología que se aplica. Específicamente, el caso particular del valle de Mexicali cuyo estudio se realizó para el ciclo otoño–invierno de 2010 a finales del mes de enero.

El Marco de Muestreo a utilizar será el de marcos de área, el cual está basado en una selección aleatoria de unidades de muestreo en campo denominados segmentos. Específicamente son áreas de terreno de 49 has (700x700 m), y la probabilidad de selección de cada uno de estos es proporcional a su superficie.

El diseño estará basado en el cultivo de interés (trigo) y en la superficie agrícola (serie IV de INEGI) que ocupen a nivel nacional, al momento de seleccionar la muestra. La superficie agrícola, se dividirá en estratos agrícolas y estos a su vez en substratos agrícolas, teniendo como la unidad más pequeña de estudio el municipio. Por lo que entonces el diseño estará basado en un muestra aleatoria estratificada dicha de otra forma la obtenida mediante la separación de los elementos de la población en grupos que no se traslapen es decir que sean mutuamente excluyentes, llamados estratos, y la selección posterior de una muestra irrestricta aleatoria simple de cada estrato. Ya que las ventajas que obtenemos son las siguientes:

1. La estratificación puede producir un límite más pequeño para el error de estimación que el que se generaría por una muestra irrestricta aleatoria del mismo tamaño. Este resultado es particularmente cierto si las mediciones dentro de los estratos son homogéneas
2. El costo por observación en la encuesta puede ser reducido mediante la estratificación de los elementos de la población en grupos convenientes.
3. Se pueden obtener estimaciones de parámetros poblacionales para subgrupos de la población. Los subgrupos deben ser entonces estratos identificables.

El método utilizado para la estimación de superficies agrícola, es el de marco de área, el cual está basado en una selección aleatoria de unidades de muestreo en campo denominados segmentos. Los resultados de este muestreo se utilizan para estimar por expansión directa la superficie (Y_h) de cada clase de uso en un estrato determinado "h", multiplicando el porcentaje de ocupación medio de la clase en los segmentos (Y_{hi}) por el área total del estudio (Sh).

El método de expansión directa asume que existe una relación directa, como su nombre indica, entre los porcentajes de la superficie ocupada por cada uso con respecto al total de la muestra de campo y de la población. Esta hipótesis: Es tanto más correcta cuanto más representativa sea la muestra estudiada en el campo.

El estimador de la superficie total A destinada a un uso determinado en el estrato "h" se especifica en la siguiente expresión:

$$A = N_h \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{nh} Y_{hi}$$

En la que:

N_h : denota el número de segmentos que integran el estrato "h", esto es: $N_h = Sh/G_h$.

Donde:

Sh : Denota la superficie geográfica del estrato "h".

G_h : Denota el tamaño del segmento.

n_h : Denota el tamaño de la muestra, esto es, el número de segmentos que forman la muestra del estrato "h".

Y_{hi} : Es la superficie ocupada por el uso en estudio, en el segmento $i(i=1,2,\dots,n_h)$ de la muestra del estrato "h":

El estimador es ingresado y puede expresarse así:

$$\hat{Y}_h = S_h \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{nh} \frac{Y_{hi}}{G_h}$$

Donde:

Y_{hi}/G_h : Es el tanto por uno de la superficie del uso en estudio sobre la superficie total del segmento.

S_h : Es el área del estrato h .

Los estadísticos asociados al estimador (varianza, coeficiente de variación, etc) se calculan normalmente por las fórmulas de Cochran (1977) para muestreo aleatorio estratificado en poblaciones finitas.

Así finalmente el método de Marco área, se expande a toda la superficie de interés dándonos un resultado, que por sí solo es de excelente calidad, sin embargo para obtener una cifra aún más apegada a la realidad, se espera el resultado de la clasificación de imagen de satélite, para finalmente ajustar ambos resultados y emitir un dato óptimo.

Al mismo tiempo que se prepara la muestra, también se prepara la programación de imágenes de satélite, que es la segunda fase de la metodología empleada en la estimación de superficies agrícolas, las fechas deben coincidir con la época en la que las plantas, estén en su mayor momento de vigorosidad, que coincide también con la fechas del operativo en campo de identificación de los segmentos o marcos área.

La clasificación del uso de la tierra es una de las aplicaciones más extendidas de la percepción remota. Existen numerosos antecedentes del uso de estas herramientas para la clasificación de áreas agrícolas y para la discriminación de cultivos. Distintos tipos de sensores se han utilizado para este tipo de aplicaciones: fotos aéreas, imágenes satelitales de alta resolución espacial, imágenes satelitales de baja resolución espacial y radar, entre otros. En México quizás los sensores más utilizados sean los de constelación SPOT, esto debido al contrato que el gobierno mexicano tiene con la empresa distribuidora de las imágenes SPOT. También sus características, como una resolución espacial de 20 metros para SPOT 4, 10 o 2.5 metros para SPOT 5 y su relativamente alta frecuencia de revista (26 días), lo hacen una de las opciones más frecuentes para la agricultura.

La discriminación de cultivos se basa en la diferente respuesta espectral que tienen los distintos componentes que se pueden encontrar en la superficie del suelo. Sin embargo, ocurre con frecuencia que para una fecha en particular existen dos o más tipos de cobertura del suelo que tienen una respuesta espectral similar y por lo tanto son difíciles o imposibles de separar utilizando sensores multiespectrales. Por ejemplo, durante el invierno el trigo del valle de Mexicali está en su máximo crecimiento y son generalmente confundidos con la alfalfa. En el valle de Mexicali este tipo de situaciones se da con frecuencia, ya que se combinan en el espacio cultivos del ciclo agrícola otoño – invierno con cultivos perennes.

Para resolver estos inconvenientes es necesario contar con muestreos en campo, estos deben ser precisos y bien ubicados con GPS, entre mas muestras GPS existan la confusión será menor, en este caso los marcos área que fueron identificados en campo, se utilizan como las muestras para la clasificación.

Todas estas muestras son ingresadas al programa de computo ERDAS 2010, también son ingresadas las imágenes y el programa se encarga de diferenciar los comportamientos espectrales, agrupando todos los de similar valor, para finalmente separar en clases, obteniendo la superficie de cada clase.

Así finalmente se obtiene el resultado de la clasificación de imágenes, que será ajustado con el del marco de muestreo a través de una regresión lineal.

La estimación de superficies mediante el método de ajuste por regresión consiste en calcular linealmente la relación existente entre los datos de la encuesta de campo y los datos obtenidos para los mismos segmentos mediante la clasificación de imágenes de satélite. Los totales estimados de cada uso se ajustan entonces de acuerdo con la ecuación de regresión calculada y con los valores totales de cada uso resultante de la clasificación de las imágenes de satélite. En el ajuste por regresión, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. El cálculo para cada uso es independiente de los demás.
2. Los resultados de la Expansión Directa son extrapolación lineal de la verdad campo y por lo tanto los resultados del ajuste por regresión deben estar dentro del rango de confiabilidad establecido por ésta para poder ser considerados confiables.

El estimador de la superficie total destinada a un uso determinado, en el estrato "h" se especifica en la siguiente expresión:

$$\hat{Y}_{hg} = N_h \bar{y}_h + b_h (x_h - N_h \bar{x}_h)$$

Donde:

N_h : denota el número de segmentos que integran el estrato "h".

$$\bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} Y_{hi}$$

n_h = tamaño de la muestra, esto es, el número de segmentos de la muestra del estrato "h".

Y_{hi} = superficie ocupada por el uso en estudio, en el segmento i ($i = 1, 2, \dots, n_h$) de la muestra del estrato "h"

$$\bar{x}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} x_{hi}$$

X_{hi} = superficie estimada vía teledetección que ocupa el uso en estudio en el segmento "i" ($i = 1, 2, \dots, n_h$) de la muestra del estrato "h".

X_h = superficie estimada vía teledetección que ocupa el uso en estudio, en el total del estrato h. b_h = pendiente ó coeficiente angular de la recta de regresión de y_{hi} ; sobre x_{hi} .

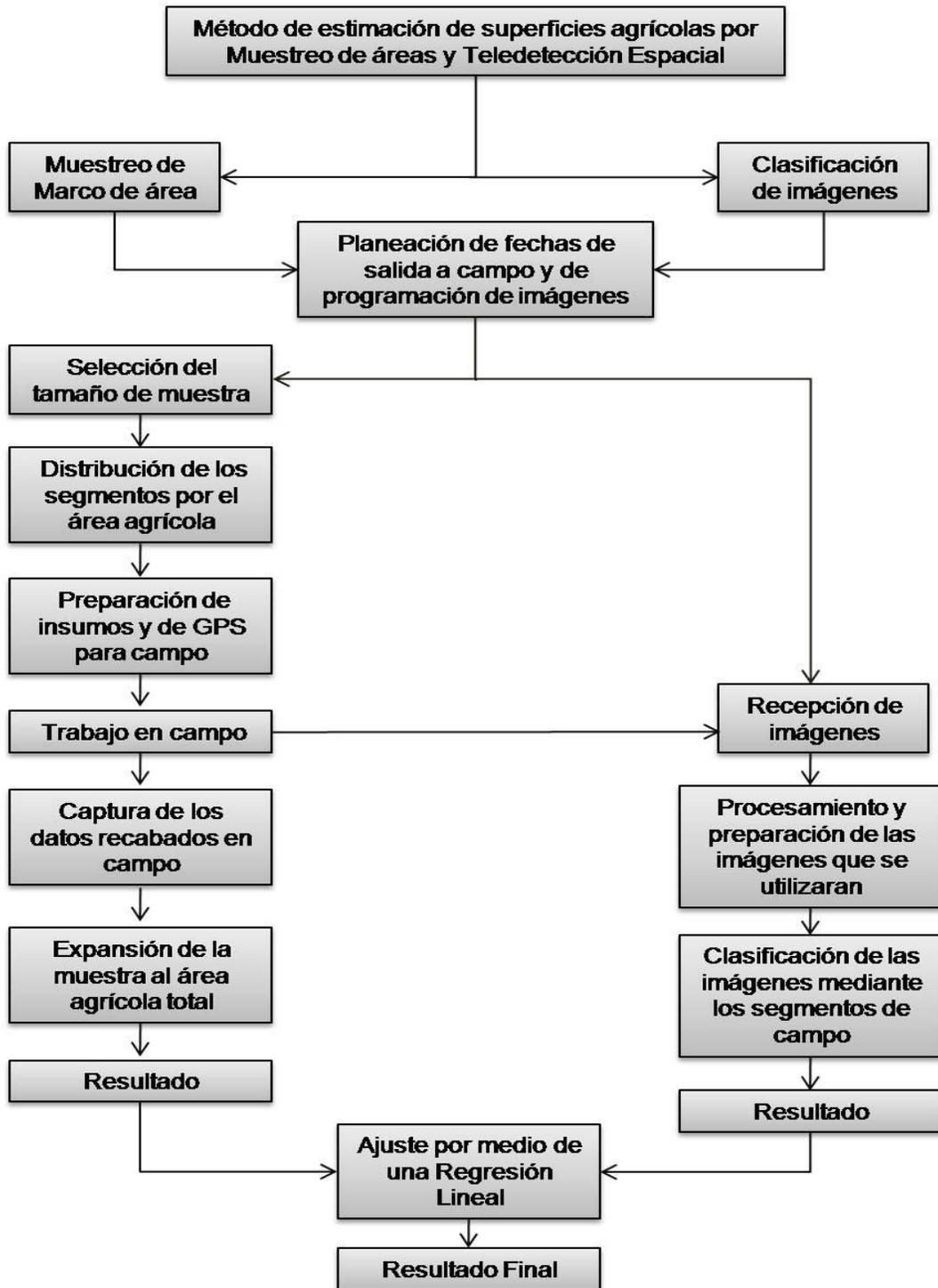
$$b_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)(x_{hi} - \bar{x}_h)}{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{hi} - \bar{x}_h)^2}$$

El grado de precisión de las estimaciones de superficies, obtenidas a partir de un ajuste lineal de los datos de teledetección con respecto a las primeras de expansión directa, suele evaluarse habitualmente mediante un grado de correlación, es decir mediante el grado de asociación de las variables utilizadas.

En general, el método funciona correctamente para superficies agrícolas de grandes extensiones, es decir para los cultivos mayoritarios. Sin embargo, la estimación de superficies se hace menos precisa normalmente a medida que disminuye la superficie de la zona a estudiar (cultivos minoritarios o concentrados espacialmente). La única manera de mejorar los resultados en este caso es contar con una buena estratificación de las zonas agrícolas y con una muestra representativa tanto en distribución como en tasa de muestreo.

En el siguiente diagrama se resume la metodología que ha sido descrita, dejando ver en forma más clara y resumida los pasos que se siguen para llegar al resultado final.

FIGURA 1.2: DIAGRAMA METODOLÓGICO SOBRE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA DE LA SUPERFICIE DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI



2.1 DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA Y PROGRAMACIÓN DEL LEVANTAMIENTO EN CAMPO Y DE LAS IMÁGENES

El tamaño de la muestra a estimar es de 3 % del total del área agrícola del valle de Mexicali, además se utiliza un nivel de significancia del 0.05, es decir, se acepta un grado de error de estimación del 5%. Aunado el tamaño de muestra, se determina el número de segmentos de 49 hectáreas; todo ello para calcular el intervalo de confianza y así poder determinar finalmente el nivel de confianza, el cual utilizando el criterio de un límite superior del 30% de confiabilidad, se generan las 4 frecuencias siguientes:

- 1.- Si $M \geq 30\%$, entonces $X \geq 90\%$
- 2.- Si $M < 30\%$ pero $M \geq 20\%$, entonces $60\% < X < 90\%$
- 3.- Si $M < 20\%$ pero $M \geq 10\%$, entonces $30\% < X \leq 60\%$
- 4.- Si $M \leq 10\%$, entonces $X \leq 30\%$

Donde: M= Límite Máximo del Intervalo de Confianza.

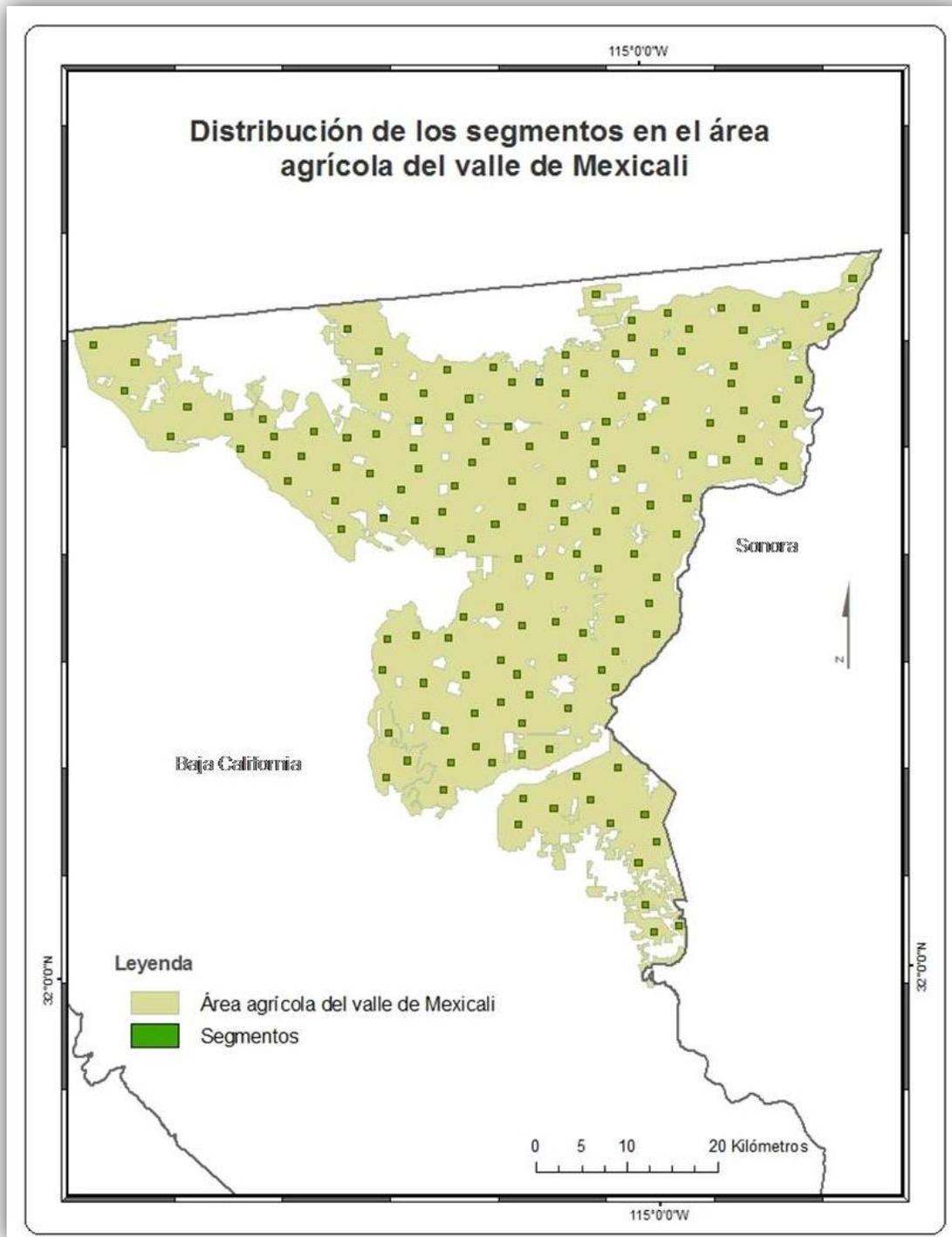
X= Resultado a estimar.

Para llevar a cabo la primera etapa del trabajo, se utiliza como insumo principal la cartografía del uso de suelo de INEGI (Serie IV), donde se acota el valle de Mexicali en su estrato agrícola (riego y temporal) en 230,543 hectáreas.

Utilizando una cobertura del 90% acumulada de la superficie sembrada, por medio de un muestreo aleatorio estratificado, se generaron 149 segmentos más 4 adicionales por cualquier imprevisto, distribuidos en el valle de Mexicali, basado en el tamaño de muestra del 3% con respecto al total del estrato agrícola a utilizar de 230,543 hectáreas.

La distribución de las unidades de muestreo (segmentos), se realizaron aleatoriamente con el programa ArcView 3.2, quedando distribuidos tal y como se muestra en el siguiente mapa.

FIGURA 2.1: DISTRIBUCIÓN ALEATORIA DE LOS SEGMENTOS, EN EL ÁREA AGRÍCOLA DEL VALLE DE MEXICALI.



Fuente: Elaboración propia.

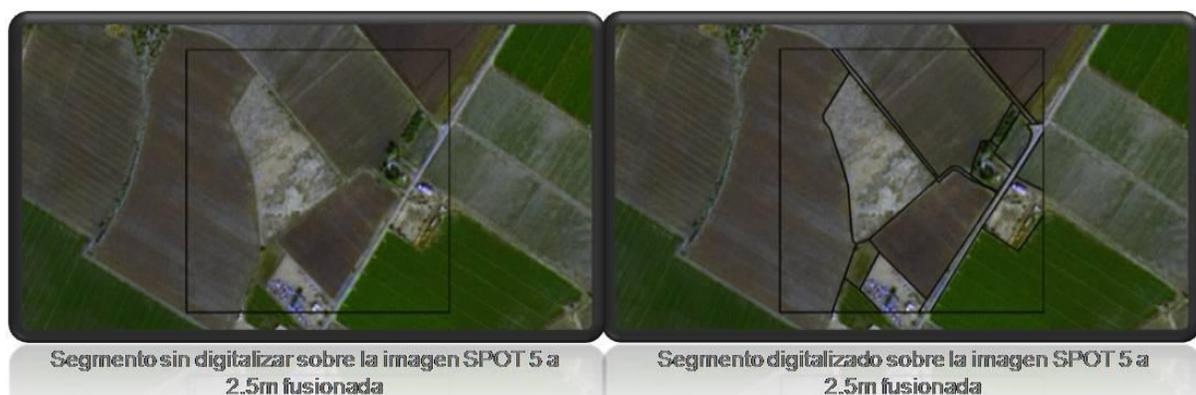
Una vez distribuidos los segmentos en el área de interés se procede a la digitalización interna de cada uno de ellos, esto con el propósito de obtener la mayor cantidad posible de muestras de cada uno de los elementos que existen dentro del área agrícola, es decir de cada cultivo existente.

La digitalización de los segmentos consiste en la delimitación de los elementos geográficos que se encuentran al interior de los polígonos de 49 hectáreas, resultado del muestreo. Este proceso se realiza utilizando un sistema de información geográfica. En éste caso se utilizó ArcView 3.2 (ArcGIS); para ello se sobreponen en la imagen la cobertura de los segmentos a muestrear y mediante fotointerpretación se visualizan e identifican todos los rasgos que en la imagen muestren un cambio de tonalidades en el espectro. Para la delimitación de los rasgos geográficos, debe tomarse en cuenta los límites físicos naturales y antrópicos que se observan en la imagen, como por ejemplo las parcelas, caminos, ríos, zonas urbanas, cuerpos de agua, etcétera.

La base de una digitalización confiable es la fuente cartográfica que se va a utilizar, en este caso se utilizaron imágenes de alta resolución espectral, fueron imágenes Spot 5 de 2.5 metros de resolución en su pixel, con fecha de diciembre de 2008. Para la digitalización la fecha de las imágenes no importa que sea distante con la del estudio, ya que solo se requieren para marcar rasgos y posteriormente toda la información será corroborada con el trabajo en campo.

A continuación se muestra un ejemplo resultado de la digitalización de un segmento.

FIGURA 2.2: COMPARACIÓN DE UN SEGMENTO SIN DIGITALIZAR Y UN SEGMENTO DIGITALIZADO SOBRE UNA IMAGEN SPOT 5 A 2.5 METROS DE RESOLUCIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

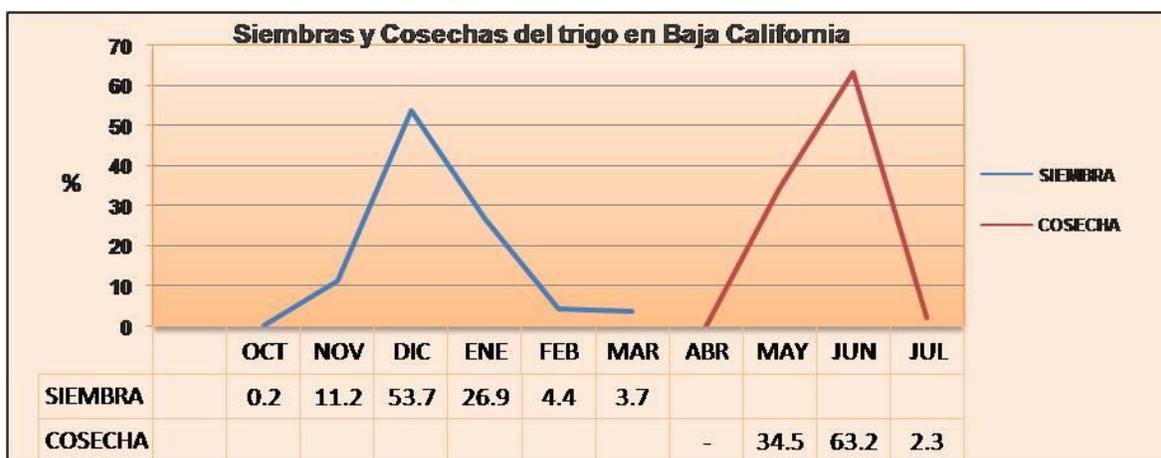
La digitalización de los segmentos es una fase del trabajo que puede hacer que la visita a campo sea más rápida y precisa, al definir correctamente los rasgos del terreno la persona que haga el recorrido tendrá menos dificultad en definir la separación de parcelas y discernir entre un cultivo y otro, pudiendo visitar en menor tiempo cada segmento y disminuyendo el tiempo de trabajo en campo.

Cada uno de los segmentos se imprimen, asignándoles a cada uno un número para su fácil identificación, junto a estos segmentos también se imprimen los formatos donde serán registrados cada uno de los rasgos y cultivos encontrados.

El trabajo en campo debe planearse con precisión, de manera tal que cuando se esté en campo, la mayor parte de los cultivos de trigo estén en su máximo crecimiento, tomando en cuenta que no todas las siembras son hechas en la misma fecha se debe recurrir a un calendario de siembras y cosechas general de la región. El valle de Mexicali al ser una zona compacta en su área agrícola disminuye los problemas en la elaboración de la estrategia del trabajo en campo.

Se toma como base el calendario de siembras y cosechas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), donde se observa que los meses de mayor siembra de trigo son diciembre y enero, los meses de mayor cosecha son mayo y junio, dejando los meses de febrero, marzo y abril como intermedios entre la siembra y la cosecha, así el mes de marzo queda como el de mayores posibilidades para encontrar el cultivo aún en pie y con su mayor crecimiento.

GRÁFICO 2.1: CALENDARIO DE SIEMBRAS Y COSECHAS DEL TRIGO EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.



Fuente: Elaborado en base a información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2010).

La decisión de tomar el mes de marzo como la mejor opción para llevar a cabo el trabajo de campo es fundamentalmente que la cosecha aún no empieza, aunque hay una mínima parte que todavía se está sembrando, es preferible contabilizar esta pequeña parte como plantas en crecimiento, muestreando como un estado fenológico en desarrollo, que realmente no afecta a la muestra al ser identificados como trigos. Lo que si afectaría a nuestra muestra es que no pudiéramos identificar los cultivos de trigo porque han sido cosechados, esto tendría un efecto negativo al alterar lo que realmente se va a producir con lo que identificamos.

Teniendo el mes de marzo como mes óptimo para la realización del trabajo en campo, tomamos la mitad de este, así que el día 15 de marzo de 2010 se programa como el inicio del operativo de campo y el día 23 de marzo de 2010 su fin. Los nueve días programados son suficientes para la visita y registro de cada uno de los segmentos, ya que en promedio una persona identifica nueve segmentos por día, así que en 16.5 días una persona podría realizar el trabajo completo y al dividir el trabajo en tres, que son las personas que apoyaran el trabajo en campo, en 5.5 días el trabajo se completara; los días que tenemos de más se ocuparan en traslados y como reserva por si ocurre alguna contingencia.

Por otra parte, la programación de las imágenes de satélite, que serán la base para la clasificación, se debe hacer bajo los mismos parámetros de la programación del trabajo en campo, pero antes de programar las imágenes se debe ubicar la zona de trabajo con respecto al barrido del sensor a utilizar.

En este caso la ubicación se hace en base a los “K-J” de Spot, donde la “K” es la columna y la “J” es el renglón, con la malla existente de los pasos del sensor por el territorio mexicano obtenemos los “K-J” precisos que cubren el valle de Mexicali, así podemos definir además de cuales imágenes se pedirán también se puede saber cuántas se necesitarán.

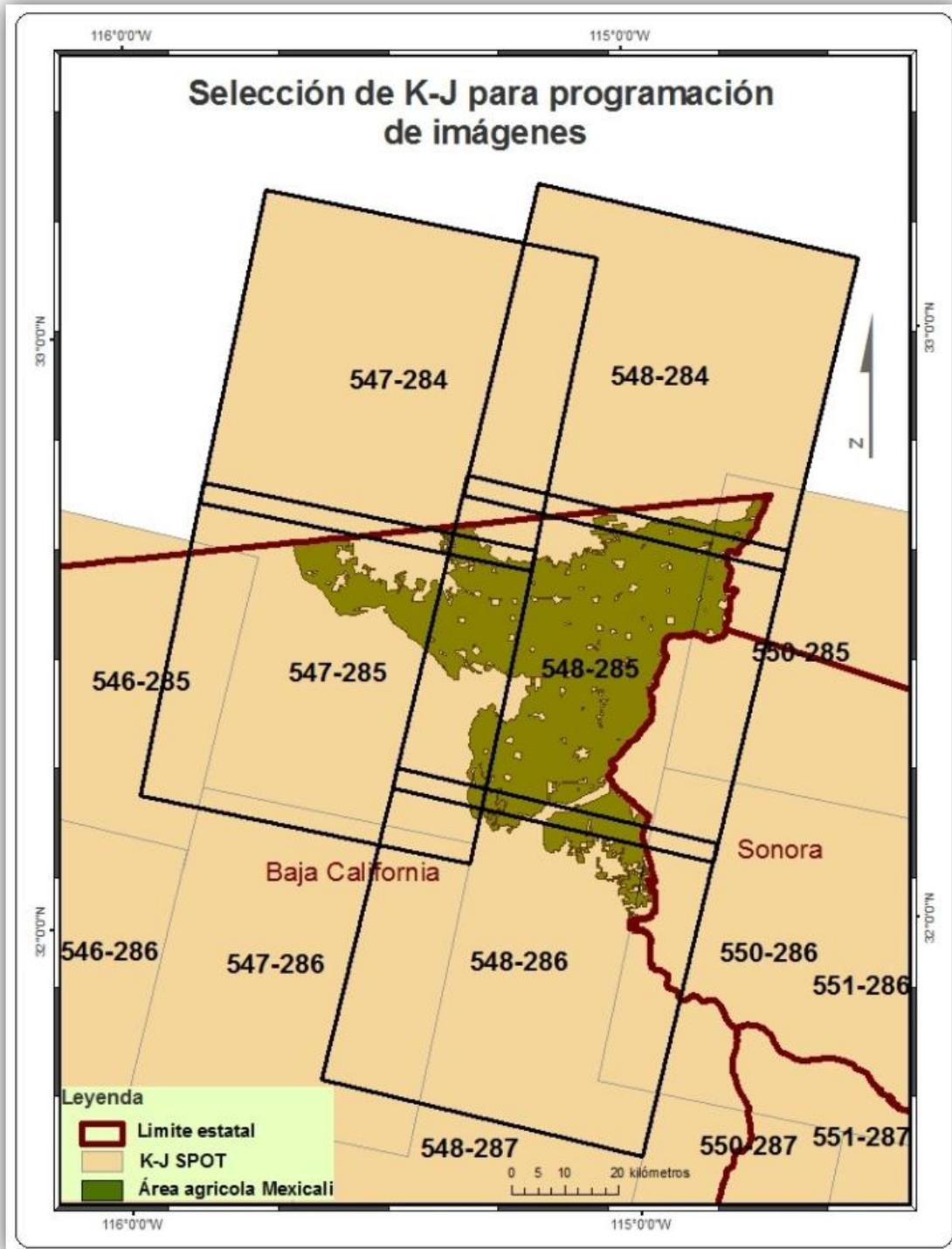
Las imágenes Spot (Satélite Para la Observación de la Tierra) son una serie de satélites de teledetección civiles de observación de la superficie terrestre, desarrollado por el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales Francés) en colaboración con Bélgica y Suecia, Spot elaboró una malla en la que se define la posición de cada imagen al paso de los satélites, cuadriculando la totalidad de la superficie terrestre para la fácil ubicación de las imágenes al momento de solicitarlas.

Para cubrir en su totalidad el valle de Mexicali se requieren cinco imágenes, esta cantidad de imágenes varía cada año, debido al desplazamiento de la órbita del sensor, cada año hay un desplazamiento de algunos kilómetros hacia el Este, lo que provoca que el área a cubrir requiera en algunas ocasiones más imágenes y en algunas otras menos. Para evitar confusiones en la cantidad de imágenes que se necesitan, además de indicar los “K-J” necesarios, también se indica el área mediante el envío de un archivo shape, mejorando la precisión de la ubicación de las imágenes solicitadas.

Los K-J a programar son:

547 (K) – 284 (J), 547 – 285, 548 – 284, 548 – 285 y 548 – 286; tal y como se muestra en el siguiente mapa.

FIGURA 2.3: SELECCIÓN DE LOS “K-J” DE SPOT PARA LA PROGRAMACIÓN DE IMÁGENES EN EL VALLE DE MEXICALI.



Fuente: Elaborado en base a información de la Estación de Recepción México de la Constelación Spot, (2010).

La elección de fechas para la programación de toma de las imágenes también se realiza con base en el calendario de siembras y cosechas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), los criterios que se toman son los mismos que en la programación de la salida al campo, además se sigue un segundo criterio, que es la correspondencia del trabajo de campo con la toma de imágenes en el mismo momento.

Siguiendo estos criterios las fechas más adecuadas son el mes de marzo, prolongando hasta la primera semana de abril, esto se debe a que una programación de nueve días sería muy corta para asegurar tomas de la calidad necesaria para clasificar, es decir se busca que las imágenes estén libres de nubes y con un ángulo de inclinación menor a 12°, todas estas condiciones aseguran un procesamiento de las imágenes y una clasificación de buena calidad.

Así finalmente la programación de imágenes comienza el 15 de marzo de 2010 y se cierra el 9 de abril de 2010 como se muestra en la siguiente tabla.

CUADRO 2.1: CALENDARIO DE SIEMBRAS Y COSECHAS DEL TRIGO EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA EN EL CICLO OTOÑO – INVIERNO, PARA LA PROGRAMACIÓN DE IMÁGENES.

| Estados | Cultivo | | | Oct. | Nov. | Dic. | Ene | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. |
|--------------------------|---------|---------|---|------|------|------|------|------|----------|---------|------|------|------|
| Baja California | Trigo | Siembra | % | 0.2 | 11.2 | 53.7 | 26.9 | 4.4 | 3.7 | | | | |
| | | Cosecha | % | | | | | | | | - | 34.5 | 63.2 |
| Programación de imágenes | | | | | | | | | 15/03/10 | 9/04/10 | | | |

Fuente: Elaborado en base a información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2010).

Una vez que se ha definido la cantidad de imágenes y la fecha de programación, se hace la petición de manera oficial ante la Estación de Recepción México de la Constelación Spot (ERMEXS), vía internet se envía la solicitud donde se especifica de manera puntual el objetivo del proyecto, los resultados esperados, la ubicación del proyecto, la duración del mismo y los recursos que se utilizarán adicionalmente a las imágenes.

Durante el periodo que dure la programación de las imágenes, el satélite tomara escenas cada vez que pase por el valle de Mexicali, la estación receptora recibirá todas las imágenes que el sensor envíe de la zona pero sólo entregara las de mejor calidad. La ERMEXS tiene la capacidad de recibir la información capturada por los satélites 2,4 y 5 de la constelación Spot, sin embargo es deseable recibir solo imágenes del satélite Spot 5, ya que este en su pixel tiene una resolución de 10 metros en su versión multiespectral y

los Spot 2 y 4 tienen 20 metros, esto se traduce en la calidad y definición de la clasificación.

2.2 ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE TRIGO POR UN MUESTREO DE MARCO DE ÁREA

Son muchas las disciplinas (las ciencias de la Tierra, las ciencias medioambientales, la geografía, la ecología, la ordenación del territorio, la economía, la hidrología, la climatología y la ingeniería agrícola y forestal, entre otras) en las que los fenómenos objeto de estudio se distribuyen, por su propia naturaleza, en el espacio, por lo que los datos requeridos para la descripción y análisis de estos fenómenos deben ser observados por muestreo de áreas y analizados mediante métodos de estadística espacial.

El muestreo es una aplicación de la teoría estadística basado en leyes de probabilidad que permite hacer inferencias sobre la población a partir de características de un subgrupo de esa misma población.

El método del marco de área está basado en una selección aleatoria de unidades de muestreo en campo denominados segmentos. Los resultados de este muestreo se utilizan para estimar por expansión directa la superficie (Y_h) de cada clase de uso en un estrato determinado " h ", multiplicando el porcentaje de ocupación medio de la clase en los segmentos (Y_{hi}) por el área total del estudio (Sh).

Para el diseño se definió una muestra de carácter estratificado y aleatorio sobre las zonas potencialmente agrícolas con una tasa media de muestreo del 3%. El tamaño de la unidad de muestreo (segmento) se hace variable en función del tamaño de las parcelas, por lo que se puede definir de 49 has para los estratos con un tamaño de parcela medio y de 25 ha en los estratos de pequeño tamaño de parcela. En el caso del valle de Mexicali se definió un tamaño de 49 has.

Cuando los segmentos han sido digitalizados en su interior se imprimen y se les asigna un número que facilitará su identificación, este formato tiene el nombre de F1, debe ser llenado en campo, identificando y numerando cada uno de los cultivos que haya dentro de cada parcela, además el formato debe ser llenado en su totalidad anotando el estado, el municipio, el distrito de desarrollo rural, la fecha de levantamiento, quien levantó el segmento y quién lo supervisó. Toda esta información debe ser llenada minuciosamente ya que será parte fundamental de la base de datos.

FIGURA 2.4: FORMATO F1, DE IDENTIFICACIÓN DE LAS PARCELAS EN CAMPO.



Fuente: Elaboración propia

El formato “F1” será la guía para llegar al segmento y para el llenado del formato “F2”, el cual es la hoja donde serán cuantificadas cada una de las parcelas identificadas, es donde serán anotadas las características de todo aquello que se encuentre dentro del segmento que es visitado, la importancia del manejo y llenado adecuado de estos dos formatos radica en que son la parte esencial en la creación de la base de datos que finalmente inducirán hacia el resultado del muestreo.

En el formato “F2” se registran las características más elementales de los cultivos encontrados en cada segmento, como la altura del cultivo en el momento de la observación, el porcentaje de la cobertura de la planta sobre el suelo, la modalidad, ya sea riego o temporal y el estado fenológico del cultivo.

La siguiente tabla es un ejemplo del formato utilizado en el trabajo de campo.

FIGURA 2.5: FORMATO F2, DE IDENTIFICACIÓN DE LOS RASGOS ENCONTRADOS EN EL SEGMENTO.

**Estimación de la superficie de trigo en Mexicali,
Baja California**

**FORMATO 2.
IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE CULTIVOS**

Segmento: _____ Fecha: Marzo 2010 Edo: B.C. DDR: Rio Colorado Mun: Mexicali

| Estado Fonológico del Cultivo en General | | Descripción | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|--------------|-------------|------------|
| 1 Plántula | <= 10 cm | % De suelo Cubierto | 1 = 80 a 100 | 2 = 50 a 80 | 3 = 0 a 50 |
| 2 Desarrollo | Sin flor ni fruto | Modalidad | 1 | 2 | 3 |
| 3 Floración | Presencia gral. de flores, s/fruto | | Riego | Temporal | No Aplica |
| 4 Fructificación | Presencia gral. de fruto o grano | | | | |
| 5 Senescencia | Presencia gral. de hojas secas | | | | |

| Claves de Cobertura | | | |
|---------------------|---------------------|----|--------------------|
| 1 | AGAVE | 16 | CHILE |
| 2 | AGUA | 17 | CIENEGA (Z. INUND) |
| 3 | ALFALFA | 18 | ESPÁRRAGO |
| 4 | ALGODON | 19 | FRESA |
| 5 | ARBOLES | 20 | FRIJOL |
| 6 | ARROZ | 21 | FRUTALES |
| 7 | AVENA | 22 | GARBANZO |
| 8 | BRÓCOLI | 23 | HABA |
| 9 | CALABACITA | 24 | PASTO NATURAL |
| 10 | CAMINO | 25 | INFRAESTRUCTURA |
| 11 | CANA DE AZUCAR | 26 | MAIZ FORRAJERO |
| 12 | CARTAMO | 27 | MAIZ GRANO |
| 13 | CEBADA | 28 | MANGLAR |
| 14 | CEBOLLA | 29 | MATORRAL |
| 15 | CHICHARO | 30 | MELÓN |
| 31 | MINA | 32 | NOPAL |
| 33 | SORGO FORRAJERO | 34 | OTROS CULTIVOS |
| 35 | PAPA | 36 | PASTIZAL |
| 37 | PEPINO | 38 | SOYA |
| 39 | SANDIA | 40 | SORGO GRANO |
| 41 | SUELO DESNUDO | 42 | SUELO EN DESCANSO |
| 43 | TABACO | 44 | TOMATE(ROJO) |
| 45 | TOMATE VERDE | 46 | TRIGO |
| 47 | VID | 48 | ZANAHORIA |
| 49 | ZONA PROD ACUTICOLA | 50 | ZONA URBANA |
| 51 | | 52 | |
| 53 | | 54 | |
| 55 | | 56 | |
| 57 | | 58 | |
| 59 | | 60 | |

| Núm. Parcela | Clave | Altura | Suelo | Modalidad | EF | Observaciones |
|--------------|-------|--------|-------|-----------|----|---------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |

Responsable del Levantamiento: _____

Fuente: Elaboración propia

Para la identificación de los segmentos se utilizaron navegadores GPS, a cada uno de los equipos se les introdujo el centroide de cada segmento, así con la coordenada central de cada segmento se facilitó la llegada a cada uno de estos. El navegador marca la dirección en la que se debe dirigir la persona encargada del reconocimiento de las muestras, con la brújula del navegador y el formato "F1" la ubicación en el terreno se facilita de manera significativa.

Las personas encargadas del levantamiento en campo tienen la libre decisión de eliminar o aumentar polígonos de la digitalización original, según sea el criterio observado en el momento de la identificación, debido a esto es necesario que la persona que realice el recorrido de campo tenga conocimiento en la identificación de cultivos, en su crecimiento y sus etapas fenológicas.

Los navegadores GPS utilizados fueron "Garmin 12 XL", estos son navegadores de una precisión baja, pero en el caso del objetivo a seguir no es necesaria la precisión en centímetros, ya que con los metros que este GPS proporciona es suficiente para ubicarse dentro de un segmento de 49 hectáreas. Los centroides introducidos al navegador se posicionaron en el sistema cartográfico de referencia WGS 84 y en una proyección UTM, que en el caso del valle de Mexicali corresponde a la zona 11.

El trabajo de campo se inició el día 15 de marzo de 2010, recorriendo y visitando cada uno de los 149 segmentos distribuidos por el área agrícola del valle de Mexicali. Los segmentos fueron divididos en tres grupos de trabajo, a dos de los grupos les correspondió 50 segmentos y a un grupo 49, en seis días la totalidad de los segmentos fueron identificados, recorridos y registrados. Así el día 21 de marzo de 2010 concluyó el trabajo de campo, completando el llenado total de los formatos "F1".

Posterior al trabajo de campo, se capturaron los 149 formatos de coberturas del suelo, generando la base de datos que es la fuente de información para obtener el resultado del muestreo, esta base fue elaborada con el sistema de información geográfica ArcView GIS 3.2, sobre este programa fue elaborado un script dirigido a integrar grandes volúmenes de información de una manera rápida y sistematizada.

La base de datos registró 2, 214 polígonos, estos fueron creados de la digitalización y de la corrección en campo, las coberturas registradas son de: agua, alfalfa, algodón, avena, caminos, cártamo, espárrago, frutales, hortaliza, infraestructura, maíz, matorral, nopal,

otros cultivos, pastizal, suelo desnudo, suelo en descanso, tomate, trigo, zona urbana y zona de árboles. De estos polígonos, 615 corresponden a trigo, que es nuestro cultivo de interés, lo que quiere decir que tendremos esta cantidad de muestras de trigo para expandirlas por nuestra área agrícola.

Con el sistema de información geográfica ArcView 3.2 obtenemos el tamaño de cada una de las coberturas, esto con el objetivo de saber que el total de los cultivos registrados corresponden a ese 3 %, que es el tamaño de muestra. Esta sumatoria de los polígonos de cada cobertura se obtiene también para poder contar con uno de los elementos de la ecuación que proyectará la muestra a toda el área de estudio.

En el muestreo el trigo ocupó una superficie de 3, 270 hectáreas, de un total de 7,301, tal como se muestra en la siguiente tabla.

CUADRO 2.2: SUPERFICIE OCUPADA POR CADA TIPO DE COBERTURA REGISTRADA EN EL MUESTREO DE CAMPO EN EL VALLE DE MEXICALI.

| Cobertura | Área (m2) | Hectáreas |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| Agua | 868,333.09 | 86.83 |
| Alfalfa | 8,574,918.01 | 857.49 |
| Algodón | 333,506.60 | 33.35 |
| Avena | 701,875.79 | 70.19 |
| Camino | 2,316,116.93 | 231.61 |
| Cártamo | 189,119.63 | 18.91 |
| Esparrago | 221,489.47 | 22.15 |
| Frutales | 203,258.53 | 20.33 |
| Hortaliza | 577,093.73 | 57.71 |
| Infraestructura | 3,822,348.37 | 382.23 |
| Maíz Forrajero | 22,093.31 | 2.21 |
| Matorral | 3,104,126.05 | 310.41 |
| Nopal | 9,071.06 | 0.91 |
| Otros Cultivos | 2,782,961.13 | 278.30 |
| Pastizal | 23,179.34 | 2.32 |
| Suelo Desnudo | 3,748,585.86 | 374.86 |
| Suelo en Descanso | 10,707,146.07 | 1,070.71 |
| Tomate (verde) | 28,771.82 | 2.88 |
| Trigo | 32,707,885.22 | 3,270.79 |
| Z Urbana | 1,850,569.44 | 185.06 |
| Zona de Arboles | 217,345.57 | 21.73 |
| Total Muestra | 73,009,795.01 | 7,300.98 |

Fuente: Elaboración propia en base al muestreo en campo.

La superficie de trigo es expandida a toda la superficie para poder obtener la estimación del área ocupada de este cultivo en todo el valle de Mexicali, el modelo de expansión directa se representa de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu_i \pm \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Resultado estimado

μ_i = Media Poblacional

ϵ_{ij} = Error de estimación

En el caso de la estimación de superficie sembrada de trigo en el valle de Mexicali tenemos que:

$$Y_h = N_h \sum_{i=1}^n \frac{y_{hi}}{n_h}$$

Donde:

| | |
|--|-------------|
| Y_h =Estimación total del cultivo de trigo en el estrato h . | ? |
| N_h =Total de superficie del estrato h . | 230, 543 ha |
| Y_{hi} =Total de superficie identificada en la muestra del cultivo de trigo. | 3,271 ha |
| n_h = Total de superficie muestra del estrato h . | 7,301 ha |

Entonces tenemos que:

$$Y_h = 230,543 \times (3,271/7301) = 103,282 \text{ ha}$$

O también podemos calcular la superficie estimada de trigo de la siguiente forma:

| | |
|--|-----------|
| N_h =Total de superficie del estrato h . | 4,705 sgm |
| Y_{hi} =Total de superficie identificada en la muestra del cultivo de trigo. | 3,271 ha |
| n_h = Total de superficie muestra del estrato h . | 149 sgm |

$$Y_h = 4,705 \times (3,271/149) = 103,282 \text{ ha}$$

El resultado de la expansión directa del modelo es de 103, 282 hectáreas, eso quiere decir que el trigo ocupa esta área en el valle de Mexicali, según el muestreo de marco área. Las demás coberturas también fueron proyectadas al área completa, dando un resultado por cada elemento que se encontró dentro del muestreo. La suma de cada cobertura ya expandida da el total del área agrícola del valle de Mexicali, tal como se muestra en la siguiente tabla.

CUADRO 2.3: SUPERFICIE ESTIMADA DE CADA COBERTURA HALLADA EN EL VALLE DE MEXICALI.

| Cobertura | Área Muestreada, ha | Superficie Estimada, ha |
|-------------------|---------------------|-------------------------|
| Agua | 86.83 | 2,741.94 |
| Alfalfa | 857.49 | 27,077.02 |
| Algodón | 33.35 | 1,053.11 |
| Avena | 70.19 | 2,216.31 |
| Camino | 231.61 | 7,313.60 |
| Cártamo | 18.91 | 597.18 |
| Esparrago | 22.15 | 699.40 |
| Frutales | 20.33 | 641.83 |
| Hortaliza | 57.71 | 1,822.29 |
| Infraestructura | 382.23 | 12,069.83 |
| Maíz Forrajero | 2.21 | 69.76 |
| Matorral | 310.41 | 9,801.90 |
| Nopal | 0.91 | 28.64 |
| Otros Cultivos | 278.30 | 8,787.76 |
| Pastizal | 2.32 | 73.19 |
| Suelo Desnudo | 374.86 | 11,836.91 |
| Suelo en Descanso | 1,070.71 | 33,809.95 |
| Tomate (verde) | 2.88 | 90.85 |
| Trigo | 3,270.79 | 103,281.68 |
| Z Urbana | 185.06 | 5,843.54 |
| Zona de Arboles | 21.73 | 686.31 |
| Total | 7,300.98 | 230,543.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el error estándar de la estimación es necesario obtener la varianza y la desviación estándar, para eso primero se obtiene la media de todas las coberturas de la estimación, después la varianza se obtiene restando cada cobertura a la media obtenida y el resultado se eleva al cuadrado, finalmente se saca raíz cuadrada a la varianza para obtener la desviación estándar.

El resultado obtenido es de 22,998 hectáreas, es decir que del resultado del trigo, que es de 103,281.68 hectáreas, hay un rango que permite asignar un tope superior e inferior a la cifra obtenida, ya que el valor verdadero no se puede saber con certeza, es necesario tener un rango en el cual quede el resultado que se consigue, como se muestra en la siguiente tabla.

Como se mencionó anteriormente, nuestro modelo de expansión directa es:

$$Y_{ij} = \mu_i \pm \epsilon_{ij}$$

$$Y_{ij} = 103,282 \pm 22,998 \text{ hectáreas}$$

CUADRO 2.4: ERROR ESTÁNDAR DE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE EN EL VALLE DE MEXICALI.

| OBS | CONCEPTO | Xi | (Xi-M)2 |
|-----|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | Agua | 2,742 | 7028237.143 |
| 2 | Alfalfa | 27,077 | 728252957.6 |
| 3 | Algodón | 1,053 | 925945.9857 |
| 4 | Avena | 2,216 | 4517580.694 |
| 5 | Camino | 7,314 | 52168099.08 |
| 6 | Cártamo | 597 | 256370.2573 |
| 7 | Esparrago | 699 | 370326.3262 |
| 8 | Frutales | 642 | 303575.2074 |
| 9 | Hortaliza | 1,822 | 2997870.092 |
| 10 | Infraestructura | 12,070 | 143495845.1 |
| 11 | Maíz Forrajero | 70 | 444.7352609 |
| 12 | Matorral | 9,802 | 94304390.64 |
| 13 | Nopal | 29 | 3869.971042 |
| 14 | Otros Cultivos | 8,788 | 75636112.25 |
| 15 | Pastizal | 73 | 311.8543053 |
| 16 | Suelo Desnudo | 11,837 | 137969814.2 |
| 17 | Suelo en Descanso | 33,810 | 1136977571 |
| 18 | Tomate (verde) | 91 | 118535159.1 |
| 19 | Trigo | 103,282 | 10648345969 |
| 20 | Z Urbana | 5,844 | 33093437.68 |
| 21 | Zona de Arboles | 686 | 354571.7078 |
| | TOTAL | 230,543 | 13,185,538,460 |
| | MEDIA | 10,978 | |
| | | Varianza | 503,703,093.3 |
| | | Des. Estándar | 22,443.3 |
| | | Error Estándar | 22,997.6 |

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la calidad de la estimación final se calcula un intervalo de confianza, para darle un porcentaje de validez, ya sea un 90% o 95% al dato final, calculamos el margen de error más – menos. Se obtiene la desviación estándar de la suma de todos los segmentos capturados, este dato será con el cual se trabajará para obtener el intervalo.

La ecuación utilizada para este proceso es la siguiente:

$$LCh = \hat{Y}_{hi} \pm \frac{Z_{\alpha/2} N_h \sigma \sqrt{1-f}}{\sqrt{n_h}}$$

CUADRO 2.5: DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA SUMA DE LOS SEGMENTOS DE CAMPO.

| SGMID | Área Class | Área sgm |
|------------|------------|----------|
| 010001 | 12.07 | 18.93 |
| 010002 | 18.65 | 21.57 |
| 010003 | 18.55 | 30.83 |
| 010004 | 22.86 | 25.59 |
| 010005 | 20.67 | 28.53 |
| 010007 | 9.54 | 9.94 |
| 010008 | 12.44 | 13.64 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| 070032 | 7.78 | 10.33 |
| 070033 | 0.69 | 5.44 |
| 070034 | 10.74 | 21.68 |
| 070035 | 4.31 | 15.76 |
| 070036 | 31.21 | 34.89 |
| 070037 | 0.61 | 2.15 |
| 070038 | 6.14 | 6.23 |
| Total | 2,461.83 | 3,270.79 |
| Media | 16.63 | 22.1 |
| Desv. est. | 10.92 | 12.95 |

Fuente: Elaboración propia en base a la captura de los segmentos.

$$Y_{hi} = 103,282 \pm (1.96 \times 4,705 \times 12.95 \times \text{raíz}(1 - (149/4,705))) / \text{raíz}(149)$$

$$Y_{hi} = 103,282 \pm 8,106 \text{ Has} \longrightarrow (111,388; 95,176) \text{ hectáreas con un 95\%}$$

La evidencia del intervalo de confianza muestra que el resultado está dentro del parámetro, dando un 95% de confianza en el resultado.

El resultado final de la superficie de trigo es de 103, 282 hectáreas, con su límite inferior en 80,284 hectáreas y su límite superior en 126, 280 hectáreas, con un 95% de certeza de que el valor verdadero se encuentra dentro del intervalo de confianza dado; lo que estadísticamente es válido.

2.3 ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE TRIGO POR UNA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Las imágenes programadas fueron entregadas en los días finales del mes marzo de 2010, enviadas vía FTP (sigla en inglés de File Transfer Protocol - Protocolo de Transferencia de Archivos), las imágenes recibidas son cuatro, identificadas con los K–J; 547–285, 549–284, 549–585 y 549-286, con fechas de 17 de marzo y 22 de marzo de 2010. Las cuatro imágenes son Spot 4, multiespectrales, con una resolución espacial de 20 metros y con una resolución espectral de 4 bandas (2 visibles y 2 infrarrojos).

Las imágenes recibidas no tienen ningún tipo de corrección, es necesario darle a cada imagen esa corrección, llamada ortorrectificación. Las imágenes adquiridas por sensores satelitales o aéreos, están afectados por errores de geometría sistemáticos inducidos por la plataforma del sensor, introduciendo de ese modo, distorsiones de terreno cuando el sensor no apunta directamente al nadir.

Las variaciones topográficas en la superficie de la tierra y la inclinación del satélite o sensor, afectan la distancia con la que se muestran las características en la imagen satelital o área; cuanto más irregular sea el terreno, mayor será la distorsión inherente en la fotografía, por este motivo, para eliminar con precisión las distorsiones de la imagen, se procede a realizar la ortorrectificación, la cual consiste en la lectura de efemérides del satélite y el establecimiento de puntos de control en latitud, longitud y altitud.

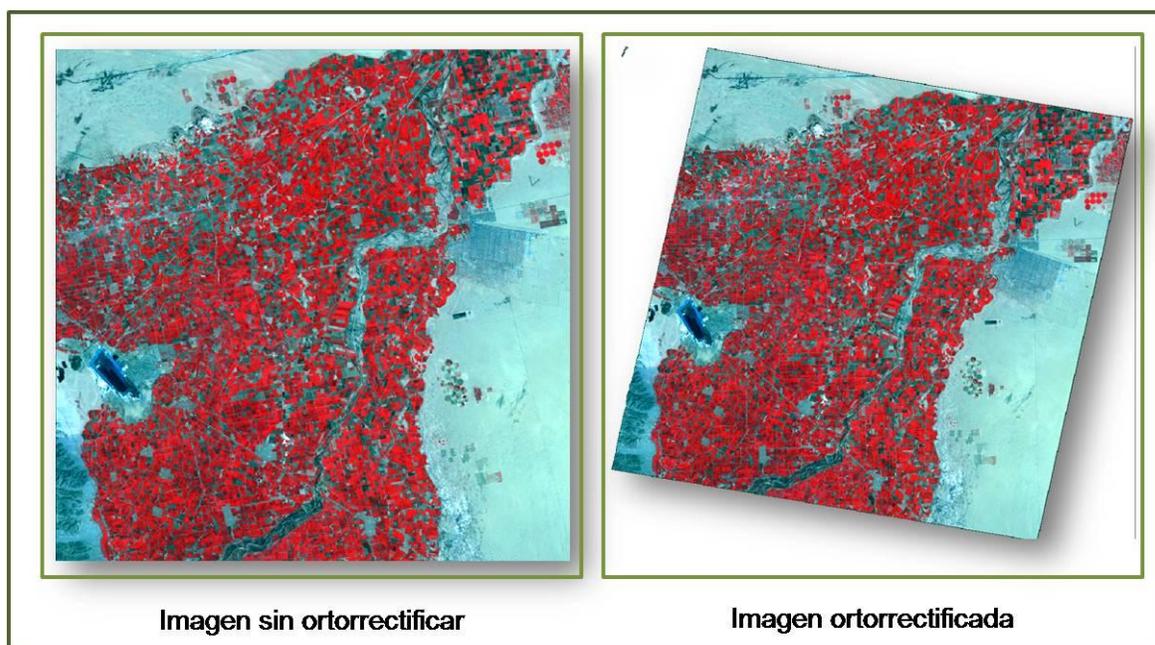
La cantidad de puntos que se introducen a las imágenes a corregir varía dependiendo de las diferencias en el relieve, entre más irregular y contrastante sea el relieve más puntos tendrán que introducirse, entre mas plano sea la superficie menos puntos de control se necesitan. En el caso de las imágenes del Valle de Mexicali la cantidad de puntos por imagen que se utilizaron fueron nueve, con lo cual se aseguro una ortorrectificación de buena calidad.

Las ortoimágenes poseen el mismo valor cartográfico que un plano sobre el que podemos medir distancias, ángulos, superficies y saber su precisión, que es igual a la que nos

proporcionará un mapa convencional. Se puede obtener información tridimensional con la extracción de la tercera coordenada determinada simultáneamente e indirectamente a través del Modelo Digital de Elevación.

Las cuatro imágenes que corresponden al Valle de Mexicali fueron ortorrectificadas tomando puntos de control del servicio de ortofotos de INEGI, este servicio de fotografías aéreas cubren el territorio nacional en su totalidad y tienen una resolución de 1.5 metros por pixel, además de ser de acceso libre vía internet bajo un servicio WMS (Web Map Service). Así es como las imágenes quedaron con latitud, longitud y altitud en cada uno de sus pixeles, como se muestra en el siguiente ejemplo.

FIGURA 2.6: COMPARACIÓN DE UNA IMAGEN SIN ORTORRECTIFICACIÓN Y DE UNA IMAGEN ORTORRECTIFICADA.



Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes Spot son una constelación de satélites que actualmente cuentan con tres satélites en órbita, el 2, 4 y 5. Spot 4 toma del espectro electromagnético cuatro longitudes de onda, dos de estas longitudes son el color rojo y el verde, que corresponden al espectro visible; del espectro no visible al ojo humano toma el infrarrojo cercano y el infrarrojo medio.

Por la presencia de los infrarrojos en los sensores Spot, este tipo de imágenes se convierten en una de las mejores opciones para detectar diferencias de humedad en las diferentes coberturas del suelo, especialmente de los cultivos. El infrarrojo al ser una onda no visible debe tomar los atributos de alguna onda visible para poder ser distinguida en la imagen, en este caso toma las características del color rojo, es por eso que una imagen Spot tiene como color dominante el rojo.

A pesar de que Spot es un sensor de características especiales para la agricultura, es necesario brindarle información que la haga distinguir entre diferentes cultivos, para clasificar una imagen hay que darle muestras espectrales validadas para que no exista confusión entre cultivos.

Las muestras espectrales que en este caso se utilizaron, son las muestras de campo recolectadas vía los segmentos, sin embargo, esos segmentos fueron manipulados manualmente en campo y vueltos a digitalizar con la información recabada, lo que provocó que las líneas que componen a los segmentos no pasen exactamente sobre los rasgos físicos que muestra la imagen, por lo que es necesario corregir esa digitalización, pero esta vez tomando como base las imágenes que fueron programadas.

A la misma base de datos que compone los segmentos ya corregidos, se le agregó un número que representará a cada una de las coberturas, a este número se le llama clase, estas clases son una parte fundamental de la clasificación, ya que son los identificadores de cada una de las coberturas que componen el área de estudio.

El total de polígonos de cada clase definirá la probabilidad de ser clasificada, es decir que para que la imagen sea capaz de discernir entre cada clase, es necesario darle los elementos que le permitan hacerlo. Con el programa ArcView 3.2 y con el script establecido con anterioridad, se suman todas las coberturas por clase, una vez sumado se obtiene la probabilidad por cada clase, como se muestra en la siguiente tabla.

Como se puede observar en la siguiente tabla, el trigo es el que cuenta con mayor número de polígonos, por lo tanto tiene una mayor área, lo que se traduce en la mayor probabilidad de ser clasificada.

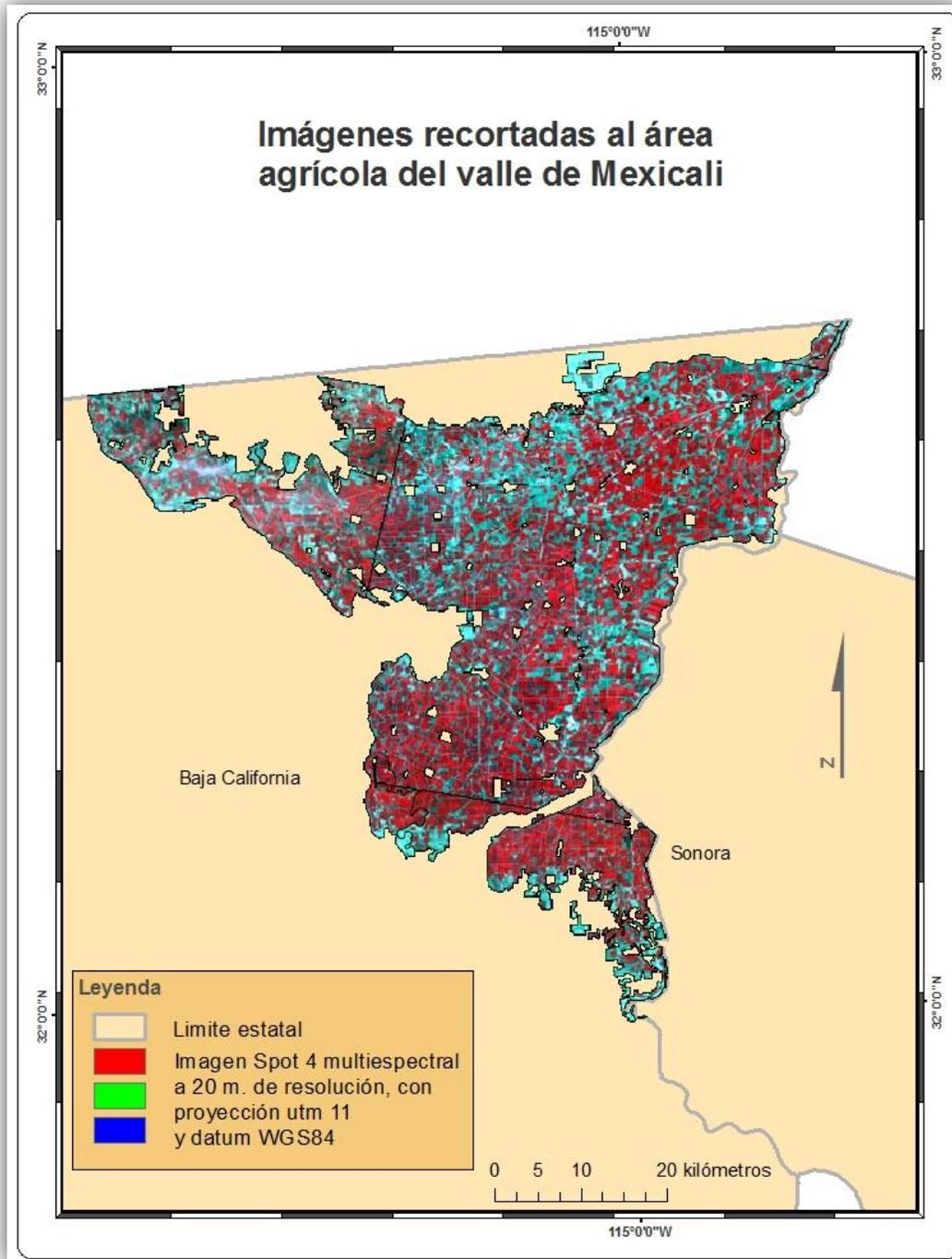
CUADRO 2.6: PROBABILIDAD DE CADA CLASE DE SER CLASIFICADA.

| Clases | Clave Clases | Polígonos | Suma del área | % | Probabilidad |
|-----------------|--------------|--------------|---------------------|---------------|--------------|
| Agua | 2 | 106 | 868,333.1 | 1.19 | 0.0119 |
| Camino | 3 | 285 | 2,316,116.9 | 3.17 | 0.0317 |
| Infraestructura | 4 | 259 | 3,822,348.4 | 5.24 | 0.0524 |
| Matorral | 5 | 138 | 3,104,126.0 | 4.25 | 0.0425 |
| Suelo desnudo | 6 | 144 | 3,768,260.3 | 5.16 | 0.0516 |
| Suelo descanso | 7 | 201 | 10,707,146.1 | 14.67 | 0.1467 |
| Zona urbana | 8 | 114 | 1,850,569.4 | 2.53 | 0.0253 |
| Árboles | 9 | 34 | 217,345.6 | 0.30 | 0.0030 |
| Otros cultivos | 11 | 55 | 2,676,107.8 | 3.67 | 0.0367 |
| Trigo | 12 | 615 | 32,832,907.0 | 44.97 | 0.4497 |
| Alfalfa | 13 | 192 | 8,574,918.0 | 11.74 | 0.1174 |
| Cártamo | 14 | 3 | 189,119.6 | 0.26 | 0.0026 |
| Hortaliza | 15 | 20 | 577,093.7 | 0.79 | 0.0079 |
| Avena | 16 | 16 | 701,875.8 | 0.96 | 0.0096 |
| Frutales | 17 | 14 | 203,258.5 | 0.28 | 0.0028 |
| Esparrago | 18 | 7 | 221,489.5 | 0.30 | 0.0030 |
| Maíz | 19 | 1 | 22,093.3 | 0.03 | 0.0003 |
| Pastizal | 20 | 3 | 23,179.3 | 0.03 | 0.0003 |
| Algodón | 21 | 7 | 333,506.6 | 0.46 | 0.0046 |
| | Total | 2,214 | 73,009,795.0 | 100.00 | 1.00 |

Fuente: Elaboración propia

Al tener las muestras espectrales acotadas al área agrícola del valle de Mexicali, es necesario cortar las imágenes a la misma proporción, para esto se utilizó el programa Erdas Imagine. Introduciendo las imágenes una por una y teniendo como base el shape agrícola del valle de Mexicali, las imágenes se cortaron quedando solo la parte agrícola, tal como se muestran en el siguiente mapa.

FIGURA 2.7: IMÁGENES RECORTADAS AL LÍMITE AGRÍCOLA DEL VALLE DE MEXICALI.



Fuente: Elaboración propia en base a las imágenes programadas de Spot.

Cada una de las imágenes recortadas es introducida al programa Erdas Imagine y al mismo tiempo es también incorporado el shape de los segmentos que han sido corregidos, en este momento se le asigna a cada clase la probabilidad que fue calculada con anterioridad y finalmente se le pide al programa que corra una clasificación supervisada.

El proceso de clasificación de las imágenes de satélite es un agrupamiento estadístico de píxeles que permite la obtención de la información sobre los elementos del terreno y en particular de los cultivos por medio de la imagen digital de satélite. La clasificación no busca una definición absoluta de cada cubierta, que pudiera ser aplicable a cualquier imagen, sino más bien una característica peculiar, válida para una determinada imagen, un territorio concreto y un momento dado. La clasificación supone un enfoque cualitativo. La clasificación digital se dirige a obtener una nueva imagen, en la cual cada uno de los píxeles originales venga definido por un nivel digital o un color, que es el identificador de la clase en donde se haya incluido. Estas clases pueden describir distintos tipos de cubiertas y en particular el cultivo de interés, que para nuestro caso es el trigo.

Existe una división primaria en el concepto de clasificar:

- Clasificación supervisada
- Clasificación no supervisada.

La diferencia fundamental entre ambos métodos estriba en si se conoce o no la clase a la cual pertenece cada patrón (observación) de datos.

La clasificación es supervisada si ya existe un conjunto de observaciones clasificadas en un conjunto de clases dado, y se conoce la clase a la que cada observación pertenece.

En la clasificación supervisada se distinguen dos fases fundamentales bien diferenciadas: la primera, consiste en el desarrollo o creación de una o varias reglas de decisión (diseño del clasificador), y la segunda, el proceso en sí de clasificación de nuevas observaciones.

En la primera fase, el conjunto cuyas clases ya están bien definidas se desglosa en un conjunto de entrenamiento y otro de validación. Se diseña el clasificador con el conjunto de entrenamiento y se observa su capacidad para clasificar con el conjunto de validación. En la segunda fase se procede a clasificar nuevas observaciones de las que se desconoce la clase a la que pertenecen.

La clasificación es no supervisada cuando se dispone de un conjunto de objetos (observaciones), donde se desconoce tanto el número de clases en que es razonable su partición así como a qué clase pertenece cada observación. Se utilizan algoritmos de clasificación automática multivariante en los que los individuos más próximos se van agrupando formando clases.

Una vez que se generó el proceso de clasificación a cada una de las cuatro imágenes, se continúa con la aplicación de dos filtros para cada una de las imágenes. El primer filtro que se emplea es para proporcionarles a los píxeles que se quedaron sin clasificar la opción de tomar una clase, esto depende de la cercanía de los píxeles con algún valor. El segundo filtro que se utiliza es para eliminar los píxeles que no han sido clasificados o que quedaron aislados.

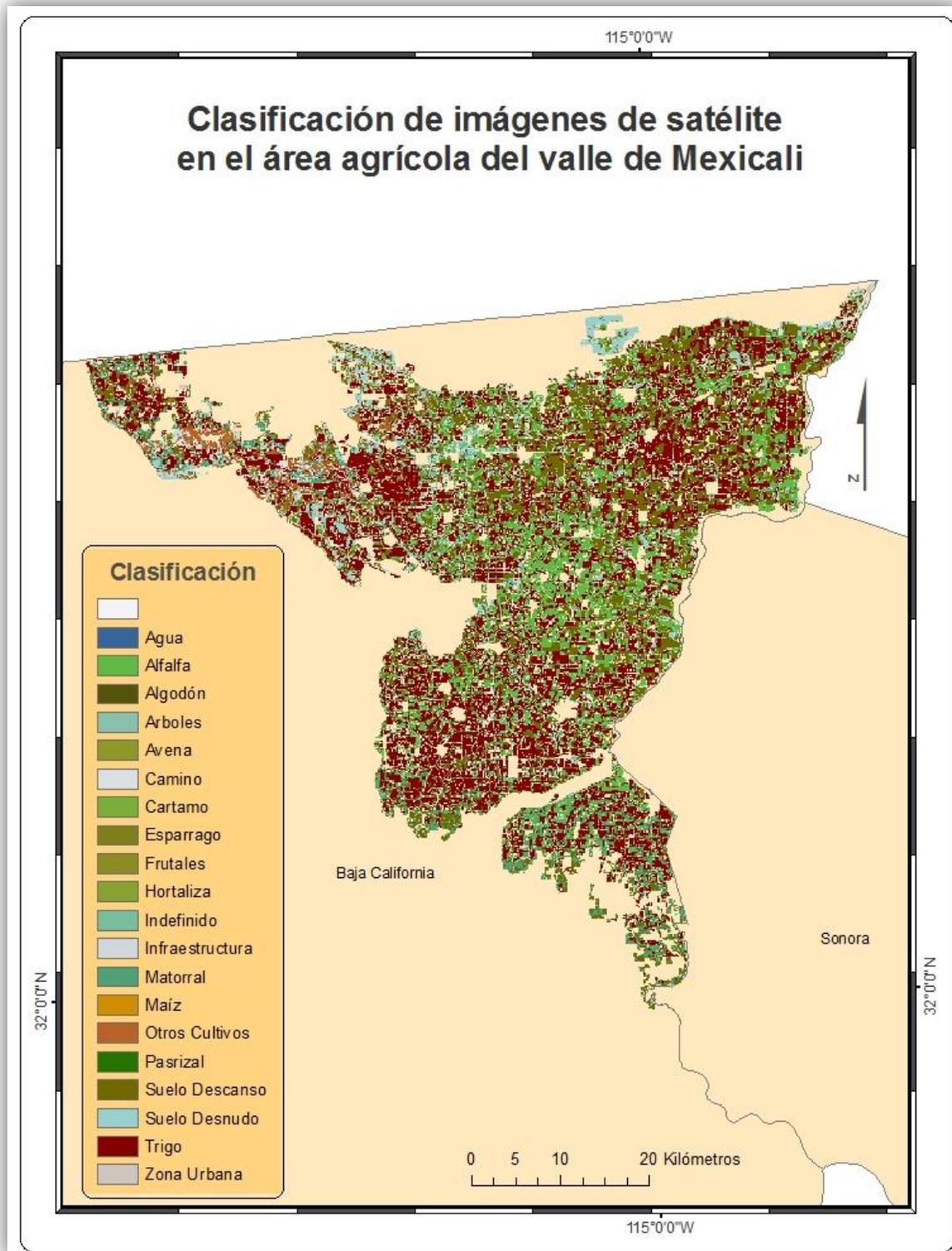
Cuando cada una de las cuatro imágenes han sido clasificadas, es necesario unir las para crear un continuo de imágenes y de datos, a este proceso se le llama mosaico, y es de este mosaico de donde se desprende el resultado final de la clasificación.

El mosaico de imágenes de satélite nos permite tener un producto en una sola pieza que originalmente proviene de varias, así como la suma de datos en imágenes temáticas representados por regiones específicas que los pasos orbitales de los satelitales no respetan, por lo que es necesario la generación de ellos en imágenes continuas y temáticas.

La elaboración de mosaicos con imágenes de satélite es un proceso complejo, obtener resultados con calidad visual y de datos requiere una conjunción de elementos que lo permitan. Los principales problemas por los cuales no se puede efectuar un mosaico son la disparidad en cuanto a balance homogéneo de color y de histogramas, las distintas fechas de toma y en particular el trabajar con diferentes tipos de sensores, como los que se presentan con Spot 4 y Spot 5.

El resultado que se obtuvo a partir de la clasificación de las imágenes de satélite del valle de Mexicali, es de 73,421 hectáreas de trigo, que se pueden observar en el siguiente mapa, donde se representan todas las coberturas que se encontraron.

FIGURA 2.8: CLASIFICACIÓN DEL ÁREA AGRÍCOLA DEL VALLE DE MEXICALI.



Fuente: Elaboración propia.

Todas las clases que fueron introducidas al proceso de clasificación obtuvieron su superficie, pero no todas tienen el mismo nivel de confianza, esto se debe al tamaño de muestra, entre más reducido es el grupo que se busca mayor debe ser la muestra.

Las muestras recolectadas en campo corresponden en su mayoría al trigo, es por eso que la cifra que se obtiene de este cultivo tiene un nivel de confiabilidad alto, este nivel se va reduciendo conforme las muestras de cada cobertura disminuyen.

Quedando las superficies ocupadas por cada cobertura como se muestra en la siguiente tabla.

CUADRO 2.7: SUPERFICIE OCUPADA POR CADA CLASE.

| Clase | Área |
|-----------------|------------------|
| Agua | 400.44 |
| Camino | 5,265.24 |
| Infraestructura | 4,052.97 |
| Matorral | 10,371.07 |
| Suelo Desnudo | 14,323.42 |
| Suelo Descanso | 48,500.61 |
| Zona Urbana | 1,317.76 |
| Arboles | 14.53 |
| Indefinido | 6,622.14 |
| Otros Cultivos | 6,329.46 |
| Trigo | 73,421.28 |
| Alfalfa | 35,601.23 |
| Cártamo | 205.05 |
| Hortaliza | 362.27 |
| Avena | 266.38 |
| Frutales | 81.56 |
| Esparrago | 13.56 |
| Maíz | 1.63 |
| Pastizal | 11.21 |
| Algodón | 38.97 |
| Total | 207,200.78 |

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la clasificación de imágenes se realiza una matriz de confusión, con el programa ArcView 3.2 se comparan los segmentos de campo contra la misma área de los segmentos pero de la máscara de clasificación. Con esto se obtiene un cuadro de comparación por cada cobertura, como se muestra en la siguiente tabla.

La evidencia que nos arroja la matriz de confusión es que la clasificación de trigo corresponde en un 80% con la información de campo, lo que significa que existe una correlación positiva, confundiendo en su mayoría con la alfalfa, esto es algo concurrente en una clasificación, debido a que el comportamiento espectral de estos dos cultivos es muy similar, la alfalfa y el trigo tienen casi los mismos niveles de humedad en esta época del año, lo que se traduce en la misma cantidad de energía reflejada hacia el sensor.

CUADRO 2.8: MATRIZ DE CONFUSIÓN DE LA CLASIFICACIÓN.

| | Agua | Camino | Intraestructura | Matorral | Suelo Desnudo | Suelo Decano | Zona Urbana | Arboles | Otros Cultivos | Trigo | Alfalfa | Cártamo | Hortaliza | Avena | Frutales | Esparrago | Maíz | Partizal | Algodón |
|-----------------|-------|--------|-----------------|----------|---------------|--------------|-------------|---------|----------------|-------|---------|---------|-----------|-------|----------|-----------|-------|----------|---------|
| Sin Clasificar | 7.7% | 0.8% | 0.7% | 0.3% | 0.3% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Agua | 7.0% | 7.5% | 5.0% | 1.9% | 2.4% | 0.7% | 3.1% | 1.9% | 3.4% | 3.5% | 4.0% | 0.1% | 0.7% | 11.5% | 1.0% | 1.0% | 0.0% | 0.0% | 0.8% |
| Camino | 4.0% | 4.1% | 8.7% | 3.0% | 3.0% | 0.5% | 8.4% | 2.1% | 0.9% | 0.6% | 1.1% | 0.0% | 2.1% | 1.4% | 0.4% | 0.2% | 1.0% | 1.5% | 0.0% |
| Intraestructura | 9.8% | 7.6% | 11.7% | 32.1% | 9.4% | 3.8% | 11.1% | 11.0% | 4.2% | 1.2% | 3.0% | 0.0% | 2.7% | 1.6% | 0.4% | 0.0% | 0.0% | 1.0% | 0.6% |
| Matorral | 8.6% | 8.5% | 11.7% | 7.5% | 52.1% | 4.5% | 31.4% | 3.9% | 4.6% | 0.4% | 1.2% | 0.0% | 18.8% | 10.7% | 17.9% | 0.0% | 0.0% | 2.5% | 2.3% |
| Suelo Desnudo | 31.5% | 29.2% | 31.0% | 36.7% | 22.1% | 82.3% | 26.6% | 26.1% | 16.4% | 2.2% | 4.2% | 4.9% | 35.6% | 20.8% | 10.4% | 92.1% | 80.3% | 23.5% | 88.3% |
| Suelo Decano | 0.6% | 0.8% | 1.0% | 0.3% | 1.0% | 1.0% | 1.5% | 0.4% | 0.3% | 0.0% | 0.6% | 0.0% | 1.7% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Zona Urbana | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.9% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Arboles | 9.0% | 7.2% | 9.4% | 5.0% | 1.5% | 0.7% | 4.6% | 11.3% | 0.8% | 4.0% | 5.3% | 2.6% | 9.3% | 0.6% | 8.4% | 0.2% | 0.0% | 0.0% | 0.1% |
| Otros Cultivos | 1.4% | 4.9% | 4.9% | 1.8% | 2.6% | 0.5% | 3.9% | 17.6% | 40.7% | 2.1% | 1.3% | 0.5% | 2.5% | 29.9% | 4.8% | 0.0% | 0.0% | 2.5% | 0.0% |
| Trigo | 6.2% | 13.0% | 5.5% | 2.7% | 2.9% | 2.3% | 2.0% | 12.4% | 10.0% | 80.0% | 2.1% | 11.9% | 1.5% | 21.1% | 13.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.2% |
| Alfalfa | 13.3% | 15.3% | 9.3% | 8.5% | 2.5% | 2.2% | 6.8% | 11.1% | 17.7% | 5.4% | 77.0% | 8.2% | 23.2% | 1.8% | 38.2% | 2.6% | 17.2% | 31.5% | 1.5% |
| Cártamo | 0.3% | 0.2% | 0.2% | 0.0% | 0.0% | 0.2% | 0.0% | 1.7% | 0.7% | 0.1% | 0.0% | 71.9% | 0.3% | 0.0% | 5.4% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Hortaliza | 0.3% | 0.3% | 0.1% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 1.3% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Avena | 0.1% | 0.3% | 0.9% | 0.2% | 0.1% | 0.1% | 0.4% | 0.2% | 0.2% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.4% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Frutales | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Esparrago | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 3.9% | 1.5% | 0.0% | 0.0% |
| Maíz | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Partizal | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 37.5% | 0.0% |
| Algodón | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 6.3% |

Fuente: Elaboración propia en base a la clasificación.

El resultado obtenido por la clasificación de imágenes es una estimación que será ajustada con la estimación del marco de muestreo área.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI, CICLO OTOÑO – INVIERNO 2010



3.1 INTEGRACIÓN DEL MUESTREO Y DE LA CLASIFICACIÓN POR UNA REGRESIÓN LINEAL

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. Se adapta a una amplia variedad de situaciones. En la investigación social, el análisis de regresión se utiliza para predecir un amplio rango de fenómenos, desde medidas económicas hasta diferentes aspectos del comportamiento humano. En física se utiliza para caracterizar la relación entre variables o para calibrar medidas. Etc.

Tanto en el caso de dos variable (regresión simple) como en el de más de dos variables (regresión múltiple), el análisis de regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio (Y) y una o más variables llamadas independientes o predictoras (X_1, X_2, X_3, \dots), así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos. Además, el análisis de regresión lleva asociados una serie de procedimientos de diagnóstico (análisis de los residuos, puntos de influencia) que informan sobre la estabilidad e idoneidad del análisis y que proporcionan pistas sobre cómo perfeccionarlo (Ospina, 2008).

Debido a su simplicidad analítica, la forma funcional que más se utiliza en la práctica es la relación lineal. Cuando solo existe una variable independiente, esto se reduce a una línea recta:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X$$

Donde los coeficientes b_0 y b_1 son parámetros que definen la posición e inclinación de la recta. (se usa el símbolo especial \hat{Y} para representar el valor de “Y” calculado por la recta. El valor real de “Y” rara vez coincide exactamente con el valor calculado, por lo que es importante hacer esta distinción).

El parámetro b_0 , conocido como la “ordenada en el origen,” nos indica cuánto es “Y” cuando $X = 0$. El parámetro b_1 , conocido como la “pendiente,” nos indica cuánto aumenta “Y” por cada aumento de una unidad en “X”. Nuestro problema consiste en obtener estimaciones de estos coeficientes a partir de una muestra de observaciones sobre las variables “Y” y “X”. En el análisis de regresión, estas estimaciones se obtienen por medio del método de mínimos cuadrados.

En una situación ideal (e irreal) en la que todos los puntos de un diagrama de dispersión se encontraran en una línea recta, no tendríamos que preocuparnos de encontrar la recta que mejor resume los puntos del diagrama. Simplemente uniendo los puntos entre sí obtendríamos la recta con mejor ajuste a la nube de puntos. Pero en una nube de puntos más realista es posible trazar muchas rectas diferentes. Obviamente, no todas ellas se ajustarán igualmente bien a la nube de puntos. Se trata de encontrar la recta capaz de convertirse en el mejor representante del conjunto total de puntos (Ospina, 2008).

Existen diferentes procedimientos para ajustar una función simple, cada uno de los cuales intenta minimizar una medida diferente del grado de ajuste. La elección preferida ha sido, tradicionalmente, la recta que hace mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto y la recta. Esto significa que, de todas las rectas posibles, existe una y sólo una que consigue que las distancias verticales entre cada punto y la recta sean mínimas (las distancias se elevan al cuadrado porque, de lo contrario, al ser unas positivas y otras negativas, se anularían unas con otras al sumarlas).

El resultado estimado por regresión lineal está diseñado para incrementar la precisión de la estimación al utilizar una variable auxiliar de fácil medición que está correlacionada con la variable principal de más difícil identificación.

Ajustando la media estimada de la variable \underline{Y} (resultado obtenido por segmentación) en función de los resultados obtenidos para la variable auxiliar \underline{X} (resultado obtenido por clasificación de imágenes), tenemos el siguiente modelo de regresión:

$$\hat{Y}_h = N_h \bar{y}_h + b_h (X_h - N_h \bar{x}_h)$$

Donde:

Y_h = Estimador de la superficie total Y_h del cultivo en cuestión en el estrato “ h ”.

N_h = Número de segmentos que integran el estrato “ h ”

\bar{y}_h = Valor medio de los valores obtenidos por segmentación del cultivo de interés.

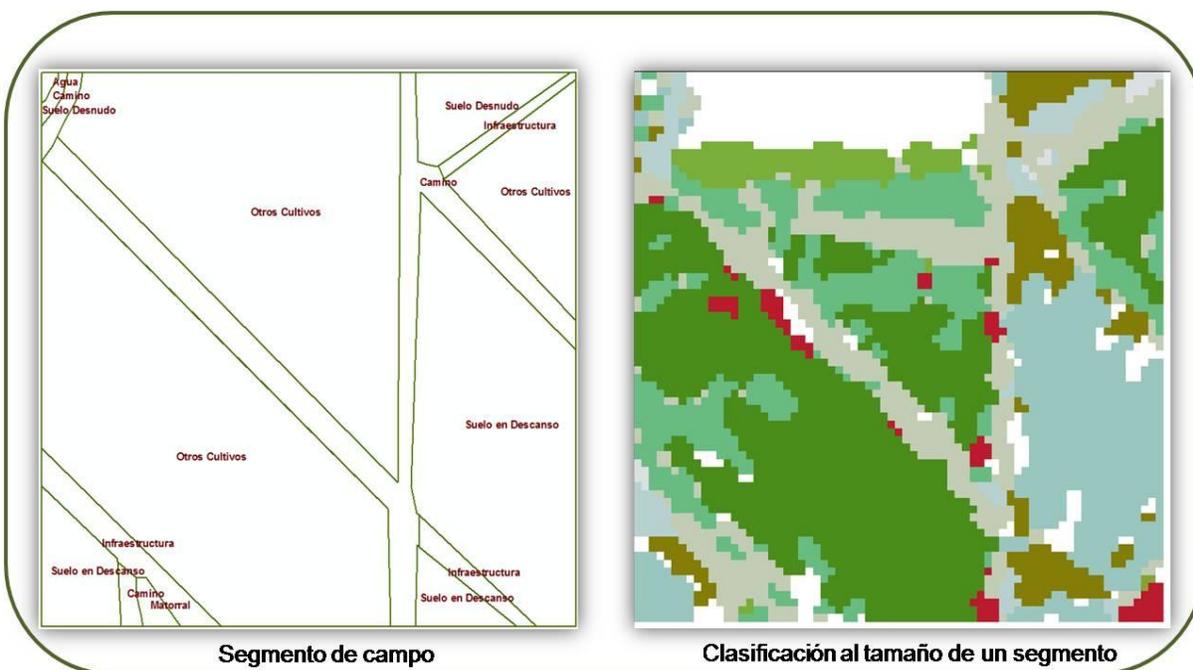
b_h = Valor de la pendiente ó Coeficiente angular de la recta de regresión de Y_h sobre X_h

X_h = Superficie estimada vía teledetección que ocupa el uso en estudio, en el total del estrato “ h ”.

xh = Valor medio de la muestra a partir de las imágenes satelitales.

Antes de iniciar las operaciones para obtener la regresión, es necesario que las variables que serán analizadas contengan la misma superficie, para eso la clasificación será cortada al tamaño de la segmentación de campo, con eso se asegura que las dos variables serán equivalentes y ninguna influirá más que la otra.

FIGURA 3.1: COMPARACIÓN DE UN SEGMENTO DE CAMPO CON UN SEGMENTO CLASIFICADO.



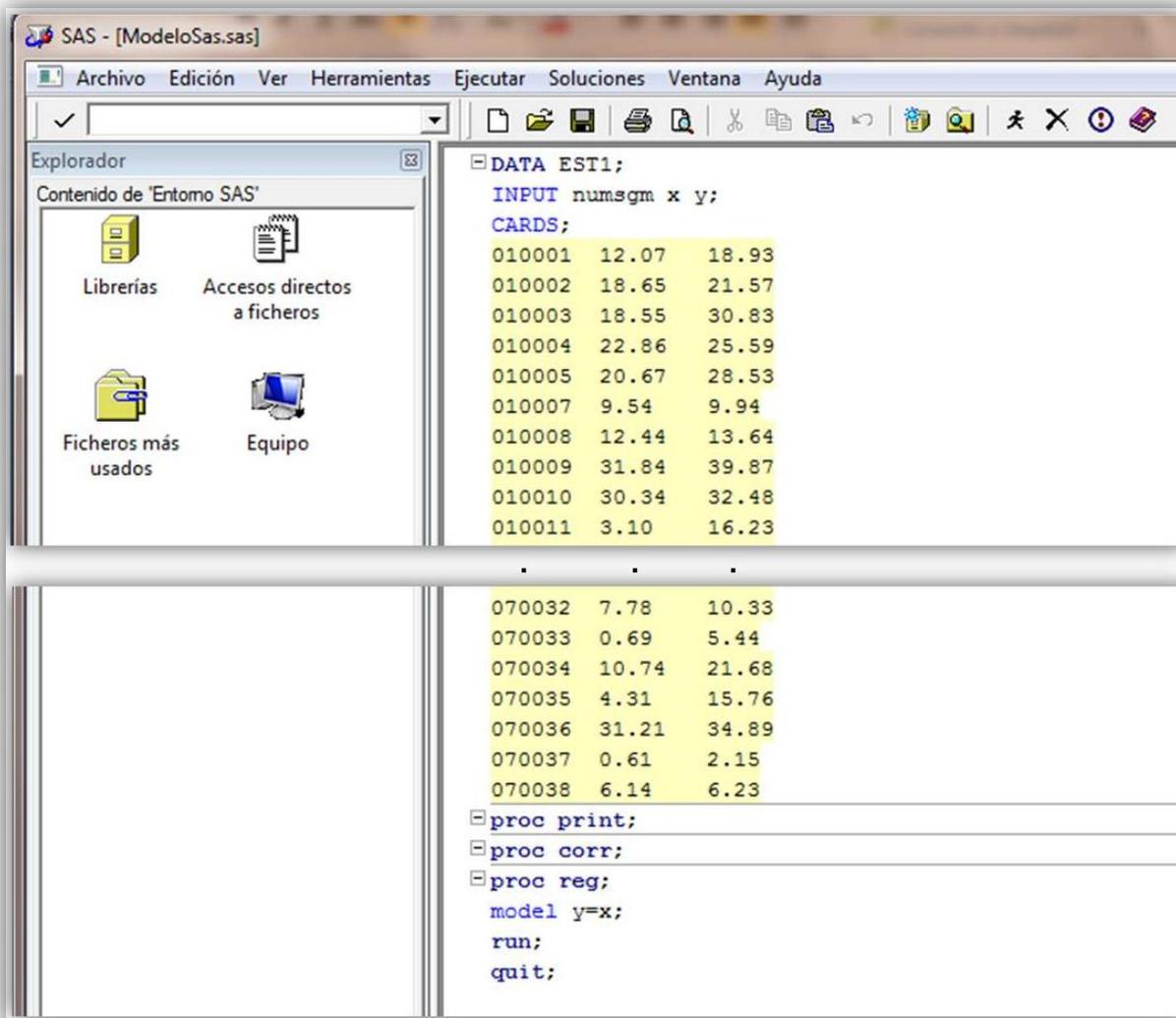
Fuente: Elaboración propia en base al trabajo en campo y a la clasificación.

Para poder obtener el valor de la pendiente y de la correlación, utilizamos el programa SAS, donde tenemos las 149 observaciones que corresponden a las 149 unidades de muestreo (segmentos).

Ya que la clasificación fue recortada al tamaño de cada segmento, es necesario separar las parcelas de trigo y hacer la sumatoria que hay en cada segmento, la misma operación se debe de hacer en cada segmento de campo. Estas dos bases de datos son la parte esencial para obtener el valor de la pendiente, que será un elemento más de la ecuación.

En la siguiente imagen se observa en la primera columna el número de segmento, en la segunda el trigo de los segmentos de campo y en la tercera el trigo de los segmentos de la clasificación

FIGURA 3.2: INCORPORACIÓN DE LAS ÁREAS DE TRIGO DE CADA SEGMENTO EN EL PROGRAMA SAS

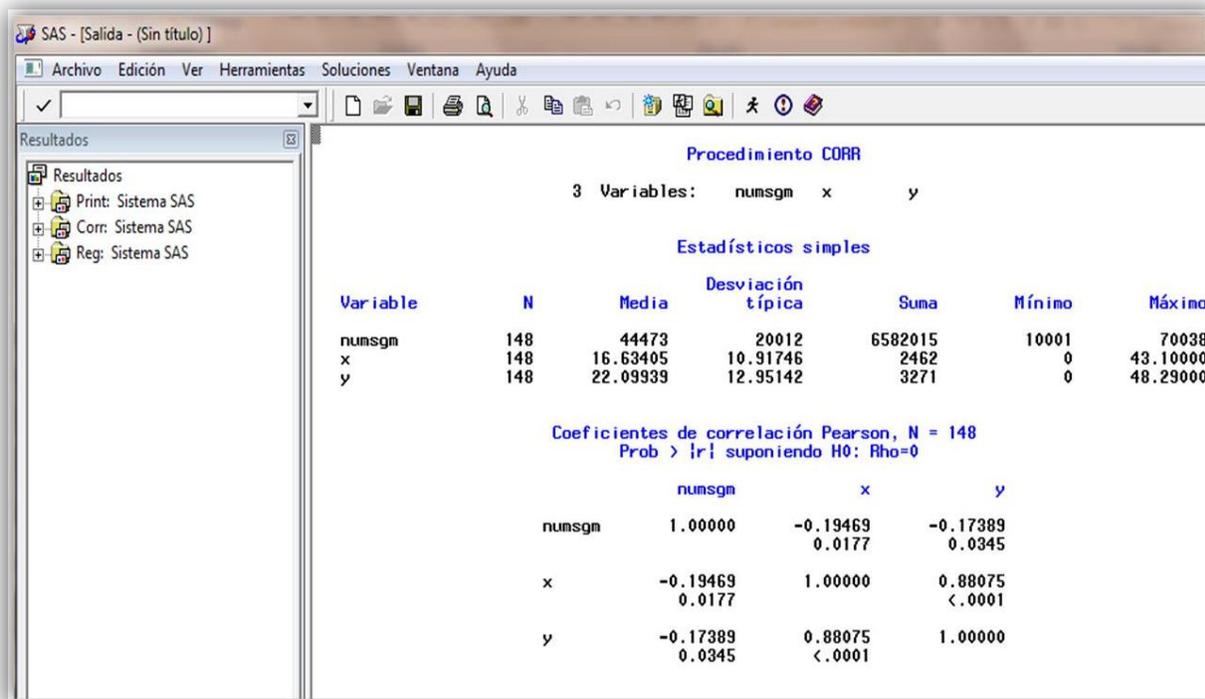


Fuente: Programa SAS, con cifras de los segmentos.

La relación que existe entre las variables “X” y “Y” es positiva, de aproximadamente 88%, como se puede observar en la siguiente imagen, lo que se puede decir que es una concordancia alta, los motivos de esta elevada correlación son diversos, la baja o casi nula nubosidad en las imágenes es un factor importante y otro es la calidad del trabajo en campo.

En la imagen se observan los resultados del modelo, empezando por las estadísticas descriptivas y la matriz de correlación de las 3 variables, número de segmento, “X” y “Y”.

FIGURA 3.3: RELACIÓN DE LAS VARIABLES “X” Y “Y” EN EL PROGRAMA SAS.

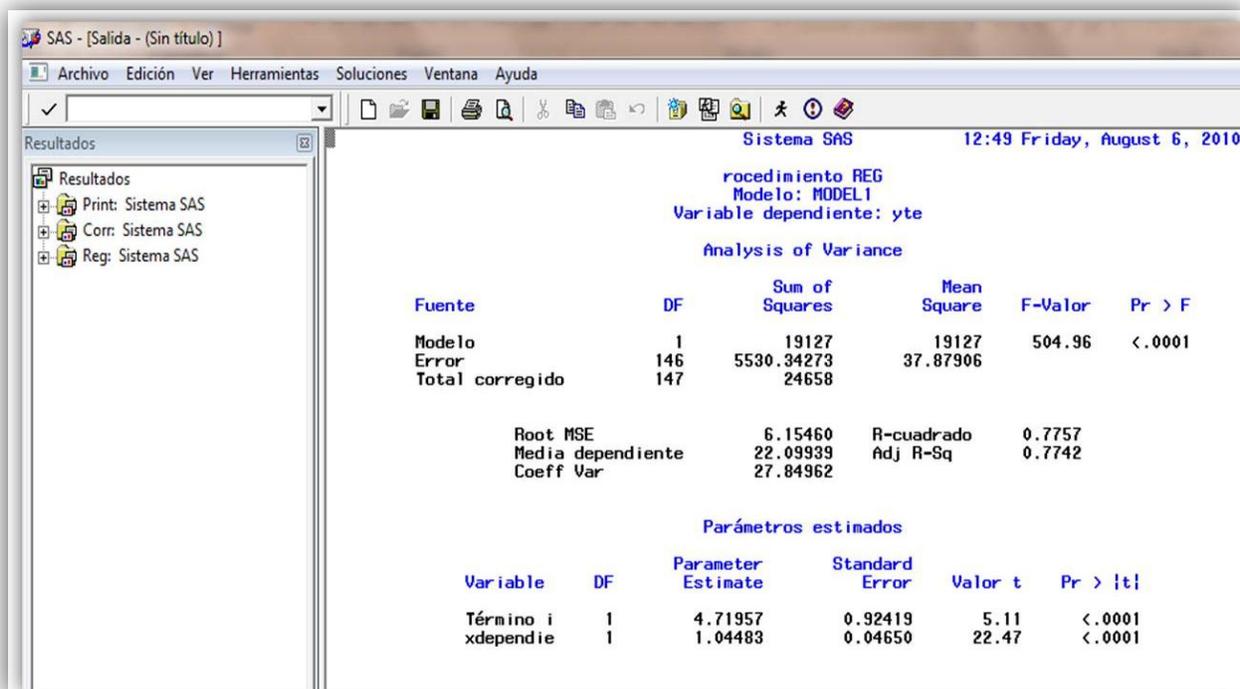


Fuente: Programa SAS, con cifras de los segmentos.

En la siguiente imagen se muestra el resultado obtenido del valor de la pendiente, es decir el valor que ajustará el modelo propuesto, el cual es basado en la metodología utilizada.

Podemos observar que el valor de la pendiente es de 1.045 ha con una desviación estándar equivalente a 0.0465 ha.

FIGURA 3.4: VALOR DE LA PENDIENTE EN EL PROGRAMA SAS.



Fuente: Programa SAS, con cifras de los segmentos.

Ajustando la media estimada de la variable Y (resultado obtenido por segmentación) en función de los resultados obtenidos para la variable auxiliar X (resultado obtenido por clasificación de imágenes), tenemos el siguiente modelo de regresión:

$$Y_h = 4,705x22.10 + 1.045(73,421 - (4,705x16.63))$$

$$Y_h = 95,937 \text{ Has}$$

Por lo tanto como resultado final tenemos que:

$$Y_{hi} = 95,937 \pm (1.96 \times 4,705 \times 10.92 \times \sqrt{1 - (148/4,705)}) / \sqrt{148}$$

$$Y_{hi} = 95,937 \pm 7,056 \text{ Has} \rightarrow (102,993; 88,881) \text{ hectáreas con un 95\% de confiabilidad}$$

Y con una correlación del 88% entre ambas variables, lo que estadísticamente es confiable para concluir que existe una asociación positiva de las variables y por lo tanto un buen estimador.

El resultado final obtenido indica que en el área agrícola del valle de Mexicali, el 41.5% es ocupado por el trigo durante el ciclo otoño - invierno, lo cual deja ver la importancia de

este cultivo para la región, los demás cultivos que ocupan el valle son igualmente importantes, sin embargo, no se puede deducir por este método debido al tamaño de su extensión, con excepción de la alfalfa que podría deducirse aumentando el número de segmentos.

Los cultivos minoritarios en el valle de Mexicali, pueden ser estimados a partir de otras metodologías, ya que el muestreo por marco área sería una mala opción, porque tendría que crecer sustancialmente el número de muestras y acabaría siendo inviable económica y operativamente; por el lado de la teledetección resulta complicado para el sensor distinguir entre cultivos de reducida extensión, además que los crecimientos son muy similares en épocas de riego como lo es el ciclo otoño – invierno, pudiendo sobrestimar u subestimar a los diferentes tipos de cobertura.

Las metodologías recomendables para los cultivos de cobertura reducida son los padrones agrícolas, debido a que la cantidad de parcelas es mínima en el valle de Mexicali, es posible contabilizar todas esas parcelas y actualizar cada ciclo.

3.2 LA SUPERFICIE DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI

La superficie sembrada de trigo ha ido incrementándose año con año, nuestro resultado confirma esta tendencia, las 95, 937 hectáreas estimadas, es mayor que la reportada el ciclo agrícola pasado. Según la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) del estado de Baja California, esta tendencia se debe a condiciones climáticas favorables en la región, pero sobre todo al uso de variedades mejoradas de alto potencial productivo y la experiencia del productor en la aplicación de los paquetes tecnológicos han sido determinantes para lograr este nivel en la superficie sembrada, el rendimiento y la producción.

Según las estadísticas oficiales del gobierno del estado de Baja California y del gobierno Federal, durante el periodo 2002 a 2009 la superficie de trigo sembrada se ha incrementado aproximadamente 24 mil hectáreas, el crecimiento no ha sido continuo, en los años intermedios de este periodo hubo decrecimiento en la superficie, pero durante los últimos dos años hubo una recuperación, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

GRÁFICO 3.1: SUPERFICIE DE TRIGO SEMBRADA EN EL VALLE DE MEXICALI DEL AÑO 2002 AL AÑO 2009.



Fuente: Elaboración propia en base a información de la OEIDRUS, Baja California, (2010).

Las cifras emitidas por las instituciones gubernamentales, en la mayoría de los casos son obtenidas mediante estadísticas históricas, tomando como base solo alguna serie de datos que son proyectados, sin tomar en cuenta situaciones que pueden afectar el espacio donde es llevada la práctica agrícola, como por ejemplo el aumento o la disminución del área agrícola, el cambio imprevisto de todo un sector hacia la siembra de otro cultivo impulsados por los precios del mercado.

En el valle de Mexicali el control sobre la superficie de trigo es más precisa que en otros lugares y sobre otros cultivos, esto se debe a que toda la producción es llevada a la venta a silos de almacenamiento que se encuentran distribuidos por toda la región, en estos lugares es contabilizada la entrada del grano, con lo cual es posible deducir el área que fue sembrada y su diferencia con la que fue cosechada.

En el valle de Mexicali existen 44 centros de almacenamiento distribuidos a lo largo y ancho, que regularmente antes de iniciar la siembra acuerdan con los productores la compra de la cosecha, lo que les da a los productores la seguridad de vender su grano. En el siguiente cuadro se observa la lista de alguno de los centros de almacenamiento de grano del valle de Mexicali.

CUADRO 3.1: LISTA DE EMPRESAS ALMACENADORAS DE GRANOS DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI.

| Municipio | Tipo | Empresa | Domicilio | Teléfono | Productos/Servicios |
|-----------|----------|---|--|----------------------------|---------------------|
| Mexicali | Agrícola | Agricultores Unidos de Mexicali S.A de C.V (Integradora Azteca) | Lote 44 Col. Cerro Prieto Frac. Norte Valle de Mexicali, Mexicali, Baja California | (686)554-19-75 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agricultores Unidos de Mexicali S.A de C.V (Puebla) | Km. 40.5 Carret. Mexicali - S.L.R.C. Ejido Tehuantepec, Mexicali, Baja California | (658)517-4133 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Agroindustrias Unidas de México, S.A de C.V. | Lote 44 Col. Primavera Ejido Gpe. Victoria, Mexicali, Baja California | (658)516-47-22 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agroindustrias Unidas de México, S.A de C.V. | Av. Guadalupe Victoria y Queretaro S/N Ejido Morelos, Mexicali, Baja California | (658)514-72-66 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agroindustrias Unidas de México, S.A de C.V. | Km. 40.5 Carret. Mexicali - S.L.R.C. Baja California | (558)514-72-66 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agroproductores Organizados S.P.R de R.L. Toluca | Carret. Bataquez - Murguía Crucero Ejido Toluca, Mexicali, Baja California | 566-2289 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Agrovizion Integradora, S.A. de C.V. (Mexicali) | Carret. Bataquez Km. 18.5 Lote 39 S/N Col. Silva, Mexicali, Baja California | (686)561-6623, 561-8555 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agrovizion Integradora, S.A. de C.V. (Silva) | Km. 7.5 carret. A San Luis Río Colorado, Col. Coahuila, Mexicali, Baja California | (561)85-39 y 561-66-23 Fax | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Agrovizion Integradora, S.A. de C.V. (Torreón) | Lote 68 Carr. Paredones ejido Torreón, Mexicali, Baja California | (658)516-70-36 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Algodonera Cachanilla, S.A. de C.V. | Km. 39.5 Carret. A S.L.R.C. Estacion Volcan, Mexicali, Baja California | (658)514-21-95 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Bachoco, S.A. de C.V. Km. 10.5 | Km. 10.5 Carr. San Felipe, Col. Cerro Prieto VI, Mexicali, Baja California | (686)563-68-00 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Bodegas Rurales Asociadas, S.P.R de R.I. | Km. 22.5 Carret. Mexicali - S.I.R.C. Col. Polvora, Mexicali, Baja California | (686)557-35-77 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Bodegas Rurales Asociadas, S.P.R de R.I. | Km. 8 Carretera Ejido Nayarit, Mexicali, Baja California | (658)514-20-39 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Carlos Gratianne Ortega | Km. 4 Colonia Compuertas, Mexicali, Baja California | (686)567-21-31 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Comercio Agrícola S.A de C.V. | Carret. A San Luis Lote 8,9 y 10 Col. Polvora, Mexicali, Baja California | 568-24-38 | Trigo y Algodón |
| Mexicali | Agrícola | Corrales San Fernando S de R.L. (Gan. San Fernando) | Carretera a San Felipe Km. 10.5, Col. Cerro Prieto VII, Mexicali, Baja California | (686)5616743, 5618710 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Corrales San Fernando S de R.L. (Jimenez) | Lote 32 Colonia Cerro Prieto III, Mexicali, Baja California | (686)561-67-64 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Corrales San Fernando S de R.L. (Limo) | Lote 31 Colonia Cerro Prieto III, Mexicali, Baja California | 686-561-67-43 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Corrales San Fernando S de R.L. (Platt) | Km. 5.5 Carretera a San Felipe, Col. Campestre, Mexicali, Baja California | (686)582-52-72 | Trigo |
| Mexicali | Agrícola | Corrales San Fernando S de R.L. (Praderas) | Km. 13.5 Carretera a S.L.R.C. Col. Gonzalez ortega, Mexicali, Baja California | (686)563-64-09 | Trigo |

Fuente: OEIDRUS, Baja California, 2010.

El precio del trigo, y en general de cualquier cultivo, es determinado en primer término por las empresas almacenadoras, que deben tomar en cuenta todos los insumos utilizados para la siembra y la cosecha del grano, tales como: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, pesticidas, fungicidas, semillas y maquinaria. Las almacenadoras tomarán en cuenta también los precios internacionales del trigo para dar los precios tentativos antes de las cosechas, para que finalmente estas empresas vendan a precios que son dados por el mercado internacional.

Como punto de referencia, el precio recibido por los productores de trigo de los Estados Unidos de Norteamérica registran una tendencia marcadamente a la baja, lo que se ha convertido en un factor que no estimula a los productores de la Unión Americana y de

México, considerando que las cotizaciones internacionales son el parámetro para la determinación del nivel de los precios internos.

En el comercio mundial de trigo no necesariamente predominan los principales países productores, ya que en los casos de India y China, éstos dedican la mayor parte de su producción para satisfacer sus necesidades de consumo interno. Los Estados Unidos se posicionan así como el principal país exportador de trigo y a su vez su mercado ejerce una influencia considerable sobre el comportamiento de los precios mundiales, los que a su vez influyen sobre el desempeño del comercio del mismo entre países.

Los Estados Unidos exportan un volumen promedio de 28.3 millones de toneladas, que representa más de la cuarta parte de las ventas totales mundiales de los últimos cuatro años. Canadá se ubica en segundo término con 18.1 millones de toneladas, Australia con 16.7 millones de toneladas y Argentina con 9.7 millones de toneladas. En su conjunto, estos cuatro países suman un total de exportaciones cercanas a 73 millones de toneladas métricas de un total de trigo comercializado en el mundo por alrededor de 103 millones.

La balanza comercial de trigo en nuestro país se caracteriza porque las importaciones son mayores que las exportaciones, lo que obedece a requerimientos del grano para panificación, el cual no se produce con suficiencia en el mercado interno, además de que la producción nacional es fundamentalmente de grano duro o cristalino utilizado para la fabricación de pastas, espaguetis y macarrones.

La siguiente tabla muestra los precios de la tonelada de trigo por hectárea a través de un periodo de 23 años, según el gobierno del estado de Baja California.

CUADRO 3.2: SUPERFICIE Y PRECIOS POR HECTÁREA DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI EN UN PERIODO DE 23 AÑOS.

| Ciclo | Superficie Sembrada | Superficie Cosechada | Rendimiento | Precio Medio Rural | Producción | Valor de la Producción |
|----------|---------------------|----------------------|-------------|--------------------|------------|------------------------|
| O-I | (ha) | (ha) | (Ton/ha) | \$/Ton | Ton | Miles (\$) |
| 1987-88 | 55.560 | 53.098 | 4.578 | 310,000.00 | 243,096.00 | 75,359,760.00 |
| 1988-89 | 52.379 | 50.572 | 4.356 | 395,000.00 | 220,304.00 | 87,020,080.00 |
| 1989-90 | 49.303 | 48.374 | 5.263 | 515,426.00 | 254,569.00 | 131,211,481.39 |
| 1990-91 | 62.510 | 60.366 | 5.434 | 593,505.00 | 328,027.00 | 194,685,664.64 |
| 1991-92 | 81.875 | 79.683 | 4.245 | 599,039.00 | 338,229.00 | 202,612,361.93 |
| 1992-93 | 81.875 | 79.683 | 5.719 | 613.00 | 455,746.00 | 279,372.30 |
| 1993-94 | 81.001 | 80.018 | 6.219 | 613.00 | 497,638.00 | 305,052.09 |
| 1994-95 | 71.056 | 69.658 | 5.404 | 866.00 | 376,423.00 | 325,982.32 |
| 1995-96 | 53.557 | 53.159 | 5.227 | 1,896.39 | 277,850.00 | 526,911.96 |
| 1996-97 | 67.882 | 67.224 | 6.119 | 1,405.27 | 411,329.00 | 578,028.30 |
| 1997-98 | 55.446 | 54.913 | 7.150 | 1,373.56 | 392,650.00 | 539,328.33 |
| 1998-99 | 51.000 | 50.636 | 6.701 | 1,369.01 | 339,313.00 | 464,522.89 |
| 1999-00 | 74.567 | 74.273 | 5.774 | 1,422.07 | 428,819.00 | 609,810.64 |
| 2000-01 | 68.341 | 68.033 | 5.646 | 1,139.95 | 384,099.00 | 437,853.66 |
| 2001-02 | 65.031 | 64.926 | 5.950 | 1,145.00 | 386,299.00 | 442,312.36 |
| 2002-03 | 75.035 | 74.394 | 6.283 | 1,350.20 | 467,418.00 | 631,107.78 |
| 2003-04 | 85.773 | 85.320 | 4.990 | 1,805.91 | 425,667.00 | 768,716.29 |
| 2004-05 | 81.111 | 80.555 | 5.911 | 1,600.00 | 476,152.00 | 761,843.20 |
| 2005-06 | 76.336 | 75.989 | 6.568 | 1,600.00 | 499,058.12 | 798,492.99 |
| 2006-07 | 80.202 | 79.946 | 6.010 | 2,200.00 | 480,374.12 | 1,056,824.38 |
| 2007-08 | 82.142 | 81.958 | 6.439 | 3,766.44 | 527,768.20 | 1,987,807.26 |
| 2008-09 | 89.937 | 88.937 | 6.624 | 3,068.81 | 589,106.00 | 1,807,852.03 |
| 2009-10* | 89.152 | 87.724 | 6.978 | 3,050.00 | 612,118.00 | 1,866,959.90 |

Fuente: OEIDRUS, Baja California, 2010.

La superficie estimada del ciclo otoño – invierno 2009 – 2010, que se muestra en el cuadro anterior, es una superficie estimada antes de la cosecha, es lo que se suponía que se sembraría de acuerdo a los parámetros históricos del gobierno estatal; el precio que se muestra, es del trigo antes de la cosecha, que al momento de la siembra era válido.

Tomando nuestro resultado, que es de 95,937 hectáreas, y tomando el rendimiento por hectárea del gobierno del estado de Baja California, de 6.978 toneladas por hectárea, tenemos que se obtienen 669,448.386 toneladas de producción de trigo en el valle de Mexicali, sin descontar ninguna hectárea como siniestrada, es decir, se esperaría esta producción si no hubiera ningún tipo de pérdida en ninguna una parcela.

Con el precio por tonelada dado por el gobierno del estado de Baja California como válido, que es de \$3,050.00, se tiene que el valor de la producción es de \$2, 041, 817, 577.00, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

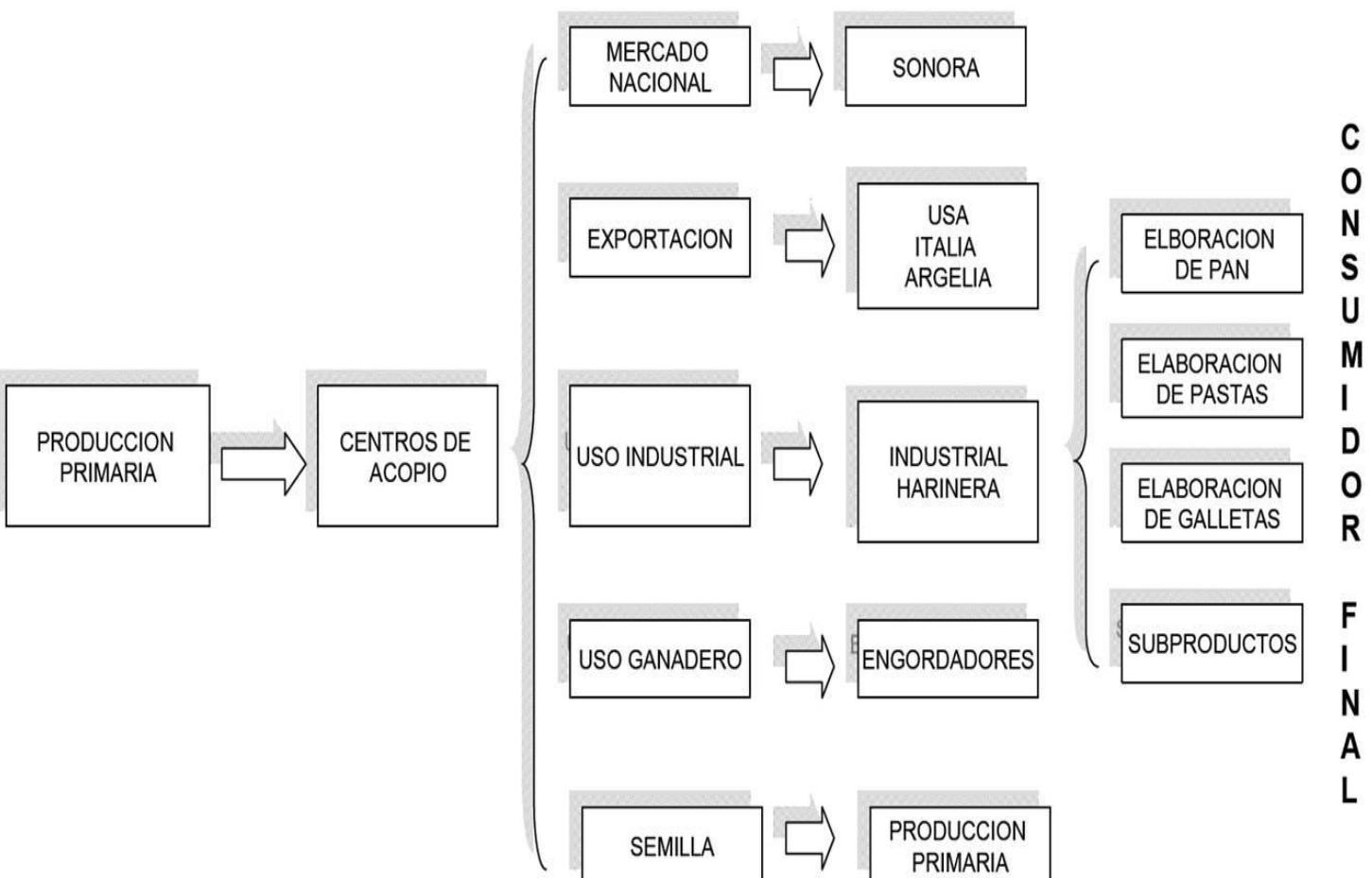
CUADRO 3.3: VALOR DE LA PRODUCCIÓN SEGÚN LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE DE TRIGO OBTENIDA POR EL MUESTREO DE ÁREA Y LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.

| Ciclo | Superficie sembrada | Rendimiento | Precio medio | Producción | Valor de la producción |
|-------|---------------------|-------------|--------------|--------------|------------------------|
| O - I | (ha) | (Ton/ha) | \$/Ton | Ton | (\$) |
| 2010 | 95, 937 | 6.978 | 3, 050.00 | 669, 448.386 | 2, 041, 817, 577.00 |

Fuente: Elaboración propia.

El destino de la producción del trigo del valle de Mexicali es la comercialización del grano, su destino es variado, desde la utilización del grano como tal para el ganado, la industrialización de este para la fabricación de harina, hasta la exportación del grano y la misma harina. En el siguiente diagrama se ejemplifica el destino de la comercialización del trigo.

FIGURA 3.5: CANALES DE COMERCIALIZACIÓN DEL TRIGO DEL VALLE DE MEXICALI.



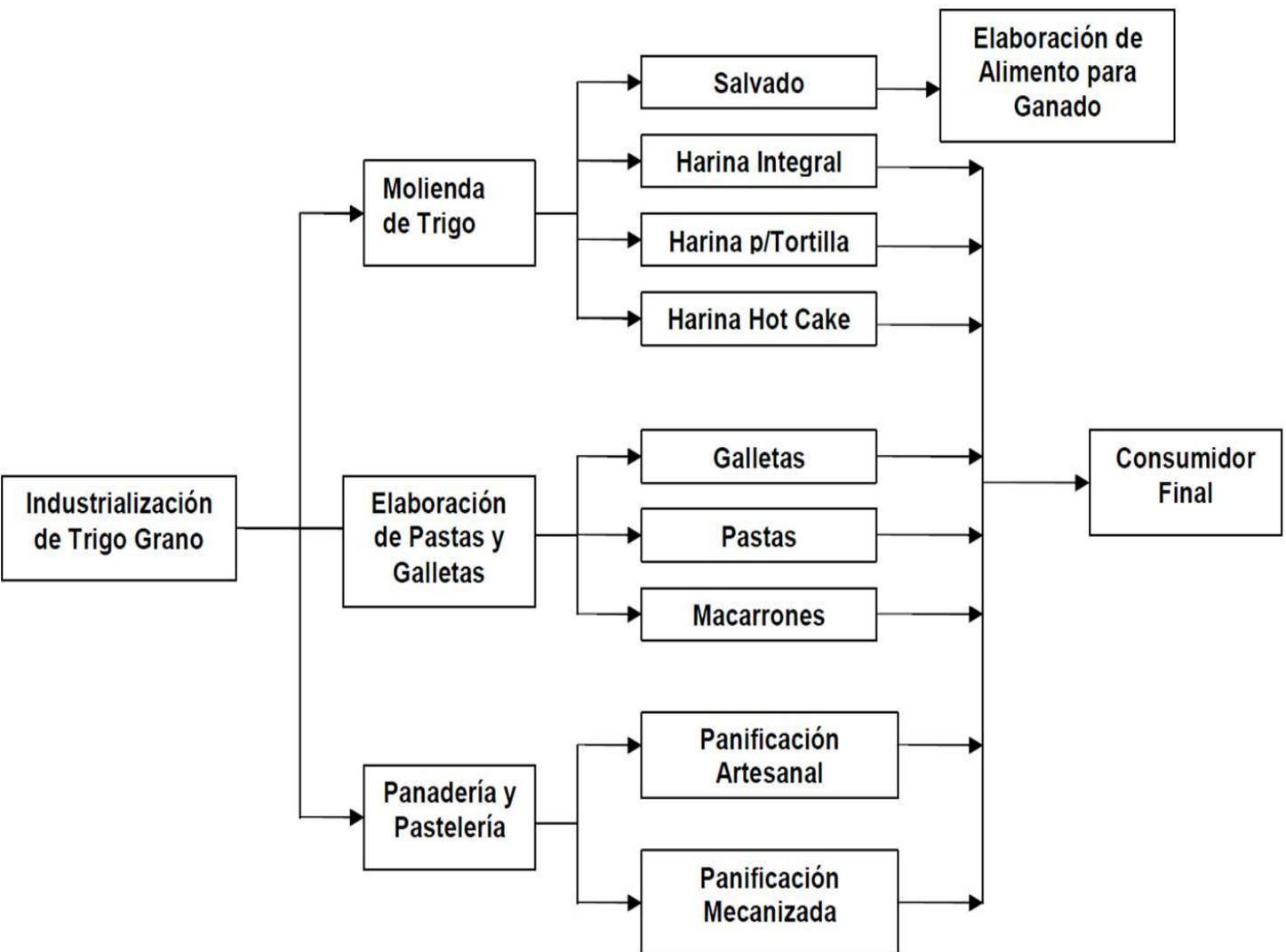
Fuente: OEIDRUS, Baja California, (2010).

El trigo recorre un largo camino desde la producción del grano hasta la obtención de los diferentes tipos de productos farináceos elaborados con la harina que resulta de la operación de molienda.

Los distintos eslabones que componen la cadena agroindustrial del trigo le agregan valor a la producción primaria. De esta manera, los productos que se obtienen en las sucesivas operaciones y posteriores procesos industriales de transformación satisfacen las demandas de consumidores tanto internos como externos.

En el estado de Baja California la Industria de la molienda procesa entre 55 a 60 mil toneladas en promedio anual de trigo, misma que pasan por el siguiente proceso:

FIGURA 3.6: CADENA AGROINDUSTRIAL DEL TRIGO DEL VALLE DE MEXICALI.

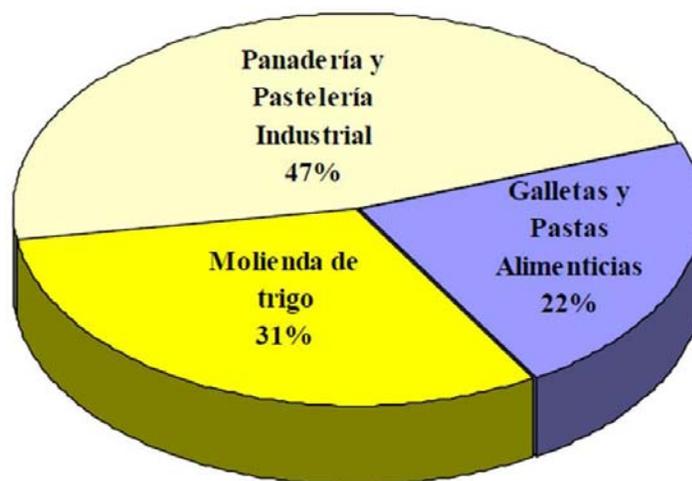


Fuente: OEIDRUS, Baja California, (2010).

En general se pueden distinguir tres canales principales para la comercialización del trigo en México: a través de comisionistas, empresas comercializadoras y productores que venden directamente a la industria harinera. Los dos primeros esquemas son los que cubren la mayor parte del mercado, aunque la proporción varía de acuerdo a la entidad federativa. En el caso de Baja California, por ejemplo, predominan los comisionistas quienes adquieren el grano para la industria molinera, en cambio en el Noroeste y en el Bajío tienen mayor participación las empresas comercializadoras, que de manera independiente adquieren el cereal para venderlo posteriormente a los agroindustriales.

En la siguiente gráfica se observa cuales son los porcentajes de uso del trigo ya industrializado a nivel nacional, la industria panadera y pastelera se llevan el mayor porcentaje de la producción de trigo, según se muestra.

GRÁFICO 3.2: DISTRIBUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE TRIGO.



Fuente: Fundación Guanajuato Produce, (2003).

La estimación de la superficie de trigo en el valle de Mexicali, es de suma importancia, prueba de ello son todas las cifras que son deducidas a partir de este dato, la industria agroalimentaria depende de la estimación de la superficie y el rendimiento para poder planificar sus compras, su producción y su distribución.

Para las instituciones gubernamentales, el saber la superficie sembrada es la base para la planeación, para la distribución de apoyos económicos, para el reparto de insumos agrícolas y para la toma de decisiones que repercutirán directamente sobre las actividades agrícolas e industriales del país.

CONCLUSIONES

La superficie agrícola de trigo en el Valle de Mexicali para el ciclo agrícola otoño – invierno 2010, fue de 95, 937 hectáreas, este el resultado que arroja la estimación realizada en base a un marco área y la clasificación de imágenes de satélite.

La superficie obtenida demuestra que la estadística oficial no está tan alejada de los resultados conseguidos con la metodología implementada en este trabajo. Lo cual no significa que, obtener estadística a través de datos históricos sea la manera más adecuada de ofrecer cifras confiables, ya que en la agricultura no se está exento de la influencia de fenómenos físicos como pueden ser los sismos, inundaciones, vientos, sequías, heladas y plagas; fenómenos sociales y económicos como la migración, precios del mercado, etc.

Todos estos fenómenos son factores de cambio en el espacio rural, pudiendo modificar la línea seguida por los agricultores de la región y cambiando sus cultivos que tradicionalmente venían sembrando por otros, ocasionando que la estadística tradicional seguida por las instituciones gubernamentales no detecte este cambio, lo que provocaría una sobrestimación o subestimación de la superficie sembrada.

Por estas razones la metodología empleada en este trabajo es la recomendable para realizar y actualizar la estadística agrícola de regiones homogéneas en sus cultivos, como lo son las grandes áreas agrícolas, donde se concentran las siembras de los principales granos. Realizar trabajos multitemporales de una misma zona provocará que la estadística agrícola vaya mejorando paulatinamente, si se estima la superficie cada ciclo agrícola se podrán obtener datos que revelaran las problemáticas que ha sufrido la zona a través del tiempo, pero sobre todo poder saber cuáles son los retos que enfrentará en un futuro y sus posible soluciones.

El muestreo por marcos área es un método que demuestra ser confiable en áreas de cultivo extensas y homogéneas, para que este tipo de estimaciones no sufra ninguna degradación en su calidad, es necesario contar con un área agrícola bien definida, el área agrícola de la serie IV de INEGI tiene algunas deficiencias en su precisión y cobertura, para corregir esto, se debe digitalizar el área agrícola sobre imágenes de alta resolución espacial, que proporcionaran una digitalización más precisa, imágenes como las SPOT,

Quick Bird, Ikonos, World View, Eros, Rapid Eye y fotografías aéreas, sirven para este propósito.

También el trabajo en campo debe ser realizado por personas con conocimiento amplio en el reconocimiento de cultivos y en el manejo de equipos GPS, esto da la garantía que la información será bien levantada y capturada. Este tipo de perfil se debe desarrollar en el ámbito académico, la combinación de estas dos habilidades pueden ser desarrolladas por los estudiantes de Geografía, con el desarrollo de un temario adecuado y la actualización en las materias de Agroclimatología y Topografía es posible lograr el desarrollo de destrezas que ayuden a reconocer cultivos y manejar GPS.

La Geografía rural debe ser puesta en un plano más visible, la importancia que tiene esta área de la Geografía radica en el conocimiento que se debe adquirir sobre este espacio para poder interpretar y analizar los acontecimientos que ocurren en él, además de ser necesaria la impartición de materias que se enfoquen en el ámbito agrícola, pecuario y pesquero, pero sobre todo que los profesores que las impartan cuenten con toda la experiencia académica y profesional.

Por la parte de la percepción remota es prudente decir que la clasificación por teledetección requiere de imágenes de alta resolución espacial, conforme el pixel de cada imagen se va haciendo más grande, mayor será la confusión que tendrá con respecto a las coberturas del área de interés. Un elemento importante es la información recopilada en campo, ya que es la fuente primaria de información con la que trabajará el programa. Otro componente que requiere ser tomado en cuenta es la resolución temporal de las imágenes, ya que las fechas de toma de cada escena deben estar en coincidencia con las fechas de siembra y cosecha.

La combinación de estos dos métodos resulta una opción que ofrece grandes ventajas, al ajustar ambos resultados la precisión crece, la estimación resultante de esto, es una herramienta para la toma de decisiones que pueden impactar de manera positiva al sector agrícola.

Los productores del Valle de Mexicali podrán saber con mayor precisión la cantidad de trigo sembrado, lo que les puede ser útil para negociar mejor el precio de venta hacia las almacenadoras, debido a que si se puede saber con anticipación a la cosecha cuanto se producirá, sabrán si subir los precios de su cosecha o mantenerlos.

Para las empresas almacenadoras, el saber la superficie sembrada les ayuda a cotizar el precio de compra del grano a los productores y el de venta hacia las industrias agroalimentarias.

Con la máscara resultante de la clasificación es posible visualizar de una manera sencilla la distribución espacial de los cultivos que están dentro del Valle de Mexicali, esto no solo sirve para obtener la superficie, al tener georreferenciados las posiciones de los cultivos es posible realizar diversos tipos de trabajos, como la distribución de la maquinaria para optimizar tiempos y costos, también en caso de algún siniestro natural es fácil identificar cuáles fueron los cultivos y las extensiones afectadas, y en otros tipos de trabajos relacionados con la ubicación de los cultivos es útil la máscara de clasificación.

La percepción remota es una herramienta que tiene grandes ventajas, la situación económica actual propicia que muchas de las formas tradicionales de obtener información estadística sean poco viables, debido a los altos costos de hacer recorridos periódicos o levantamientos censales, se dejó de obtener información confiable. Esto vuelve a la teledetección una opción importante, de costos más bajos pero con el requerimiento de contar con personal altamente capacitado.

Además, la facilidad que actualmente otorga el gobierno federal en la disposición de imágenes, está provocando que gran parte de las instituciones, no solo las agrícolas, estén guiando sus programas estadísticos y geográficos hacia el uso de imágenes de satélite.

Es indispensable que las siguientes generaciones de geógrafos sean capaces de manejar y manipular las imágenes de satélite, la tendencia actual de la percepción remota necesitara de profesionales capaces de interpretar el espacio desde una serie de herramientas, que día a día se están creando y actualizando. La creación de talleres donde los alumnos puedan tener contacto con estas nuevas tecnologías, provocará que se llegue poco a poco a la actualización técnica de los nuevos profesionales, esto es sin dejar jamás de lado que se refiere solo a una herramienta, que les será de gran utilidad en el mundo laboral y académico.

BIBLIOGRAFÍA

Aboites Luis. (1991). "El valle de Mexicali 1930 – 1934: política agraria, crisis económica y conflicto faccional". Universidad de Sonora, Departamento de Historia y Antropología. Hermosillo, Sonora, México.

Allen R. (2007). "Crop Reporter. Safeguarding America's Agricultural Statistics. A century of successful and secure procedures, 1905-2005". Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service.

Alonso Ramón. (1990). "Estadística y Agricultura". Unidad estadística, E.T.S.I. Agrónomos de Madrid, Ciudad Universitaria. Madrid, España.

Anderson H.S. y Tonboe R.T. (1999) "The operational continuation of the project monitoring agricultura with remote sensing (MARS) – Should DMI be Involved?" Danish Meteorological Institute. Technical report 99-27.

Anguiano María. (1992). "La irrigación para transformar el desierto. Formación social del valle de Mexicali a principios de siglo XX". El Colegio de la Frontera Norte, Departamento de Estudios Sociales. Vol. 4. Núm. 8. Julio – Diciembre. Tijuana, Baja California.

Arce Rafael, Avendaño Isabel, Bienes Luis. (2006). "Estudios Sociales". Serie: Hacia el siglo XXI. Ministerio de Educación Pública de Costa Rica. San José.

Boissezon H. y Sharman M. (1993). "Rapid estimates of crop production using remote sensing: European Experience". Sotema 2. Joint Research Centre, Ispra Establishment. Italy.

Calvo Coin. (2000). "Sistemas de indicadores sociales: una aproximación epistemológica". Revista de Ciencias Sociales. Acces my Library. Consultado en el portal <http://www.accessmylibrary.com/article-1G1-109084713/sistemas-de-indicadores-sociales.html>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2005). "Percepción remota. Fundamentos de teledetección espacial". Subdirección general de programación, Subgerencia de informática y sistema geográfico del agua, jefatura de control cartográfico. México, D.F

ESYRCE. (2008). "Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivo del año 2007". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección general de planeación

economía y coordinación institucional. Subdirección general de estadísticas agroalimentarias. Madrid.

EUROSTAT. (2003). "The LUCAS survey. European statistics monitor territory". Working papers and studies. European commission. Them 5. Agriculture and fisheries. Luxembourg.

FAO. (2005). "La reforma de la FAO. Una visión para el siglo XXI". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Flores Francisco, Scott Christopher. (2000). "Superficie agrícola estimada mediante análisis de imágenes de satélite en Guanajuato, México." IWMI, Serie Latinoamericana: No15. México, D.F: Instituto Internacional del Manejo del Agua.

Fundación Guanajuato Produce. (2003). "Plan Estratégico de Investigación y Transferencia de Tecnología". Elaborado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro.

Huicochea V. (2002). "Comisión de agricultura y ganadería, Presupuesto de egreso 2002". Partida presupuestal INEGI para realizar el censo agropecuario.

Infante Said, Zárate Guillermo. (2003). "Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario." Editorial Trillas. México D.F.

Kalbermatter Diego, Mourazos Javier, Vacca Pablo. (2010). *Métodos de estimación para el área agrícola*. Una aplicación del departamento O'Higgins en la provincia del Chaco. Departamento de información económica y social (DIES), Laboratorio de GIS y teledetección. Argentina.

León – Portilla Miguel. (1995) "La California mexicana ensayos acerca de su historia". Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F.

Muller S., Wade, G. y Cook P. (1995). "Agricultural Statistics Board AVHRR GIS Product Development". USDA/NASS, Remote Sensing Section. 3251 old Lee Hwy, Rm 305 Fairfax, Va 22030.

Ospina David. (2008). "Introducción al muestreo". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias. Bogotá, Colombia.

Padilla Lilia, Juárez María. (2000) “La dimensión espacial del crecimiento poblacional de Mexicali”. Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM Núm. 43. 2000. pp. 88-104.

Paruelo José, Guerschman Juan, Baldi Germán. (2004). “La estimación de la superficie agrícola. Antecedentes y una propuesta metodológica”. Interciencia, agosto, año/vol.29, número 008. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. Pp.421 – 427.

Pieyrot R y De la Sierra M. (2004). “Programa Nacional de Estimación de Superficie, Producción y Rendimiento, PRONESPRES”. Dirección general de sistemas de información para la operación de apoyos.

Torres F.T. (2003) “Seguridad alimentaria: seguridad nacional”. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones económicas, Méx. Cap 1. Págs. 15–49.

Walther Adalberto. (1996). “El valle de Mexicali”. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C.

FUENTES CONSULTADAS EN INTERNET

1. Estación de Recepción México de la Constelación Spot

http://www.semar.gob.mx/sitio_2/informacion-del-sector-maritimo/ciencia/ermexs.html

2. “Group on Earth Observation”. Agriculture Community of Practice.

http://www.geosec.org/cop_ag_gams_pp.shtml

3. Memoria del XV simposio de historia, Universidad de Sonora:

<http://www.simposio.uson.mx/memorias/PDF%20AHD/memo%20XV-1/29%20EI%20Valle%20de%20Mexicali.pdf>

4. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, Baja California.

http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/

5. Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera.

<http://www.siap.gob.mx/>